



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL PFC: Desenvolupament de mètodes per minimitzar els efectes de *salinity spiking* en dades oceanogràfiques

TITULACIÓ: Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

AUTOR: Gerard Tarragona Foradada

DIRECTOR: Rubén Quesada Lopez

DATA:

Títol: Desenvolupament de mètodes per minimitzar els efectes de *salinity spiking* en dades oceanogràfiques

Autor: Gerard Tarragona i Foradada

Director: Rubén Quesada Lopez

Data:

Resum

Aquest projecte se situa en l'àmbit del tractament i processament de dades oceanogràfiques provinents de diversos tipus de sondes. Aquest camp està adquirint cada cop més importància de cara a l'anàlisi dels processos biològics i l'ecosistema d'entorns aquàtics –oceans, llacs, zones costaneres, etc.-. Les sondes oceanogràfiques contenen diversos sensors, com poden ser els de temperatura, conductivitat, fluorímetres i sensors de concentració d'oxigen. Les dades obtingudes seran processades i analitzades amb posterioritat.

El present projecte es centra en les dades obtingudes pels sensors de temperatura i conductivitat. Les seves mesures aporten dades d'altres magnituds de notable interès oceanogràfic, com la salinitat i densitat. En funció de l'aplicació que es vulgui dur a terme i de la tipologia espacial del perfil a mesurar, disposem d'equips de baixa resolució espacial (com les sondes CTD) o d'una resolució espacial molt més elevada (sondes de microestructura).

El treball desenvolupat s'ocupa de les dades obtingudes per sondes de microestructura. Aquestes permeten obtenir major sensibilitat i resolució, idònies per la mesura de perfils on les variables espacials varien ràpidament, com en entorns poc profunds. Tanmateix, presenten carències en l'adquisició i això implica possibles problemes en el processament de dades. En primer lloc, són sensibles al soroll, que esdevé un element d'incertesa i distorsió important en la mesura. D'altra banda, un altre problema és el fenomen anomenat *salinity spiking*, que representa l'element d'estudi principal del projecte.

El *salinity spiking* és un efecte que sorgeix com a conseqüència que els sensors de temperatura i conductivitat presenten temps de resposta diferents o per altres causes, que també s'estudiaran. Aquest desajustament propicia l'aparició d'errors en l'obtenció dels paràmetres de salinitat i densitat. A més a més, també causa problemes de detecció de zones de barreja.

Els objectius principals del projecte són l'anàlisi dels mètodes de correcció existents per sondes CTD, l'estudi de la viabilitat d'aquests mètodes per sondes de microestructura, l'avaluació de les tècniques de correcció per aquestes sondes i la creació i desenvolupament de mètodes propis que minimitzin l'efecte del *salinity spiking* en un perfil de dades oceanogràfiques.

Title: Development of methods to minimize *salinity spiking* effects in oceanographic data

Author: Gerard Tarragona i Foradada

Director: Rubén Quesada Lopez

Date:

Overview

This Project is placed in the acquisition and processing field of oceanographic data extracted from several kinds of probes. This subject is getting more important day by day on the analysis of biological processes as well as aquatic environments such as oceans, lakes and coast areas. Oceanographic probes contain several sensors, such as temperature, conductivity, chlorophyll concentration and oxygen, and they obtain data for a later processing.

The project focuses on temperature and conductivity sensors. Their measurements provide data about other oceanographic quantities, like salinity and density. Depending on the desired application and the spatial features of the profile to measure, we can use low spatial resolution equipment (such as *CTD* probes) or higher spatial resolution equipment (e.g. microprofilers or microstructure probes). This project focuses on the last ones, due to the features of the water column to measure.

Microstructure probes have high sensitivity and resolution, suitable for the measurements of profiles where spatial variables change quickly; for instance, environments of little depth. However, they have some drawbacks in reference to acquisition and data processing. Firstly, they are rather sensitive to the noise, which adds distortion and uncertainty on the measurement. On the other hand, another problem is the phenomenon named *salinity spiking*, which represents the main topic to study in this project.

Salinity spiking is an effect arisen as a consequence of the fact that temperature and conductivity sensors have different response times. This mismatch causes error appearance in the computation of salinity and density parameters. Furthermore, it also causes troubles on the detection of turbulent zones or water mixtures.

The main aims of the project are the analysis of existing correction methods for *CTD* probes, the study of correction methods for microstructure probes, the assessment of correction techniques for these probes and the creation and development of own methods which minimize *salinity spiking* effect in an oceanographic data profile.

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. INSTRUMENTS DE MESURA DE PARÀMETRES OCEANOGRÀFICS.....	3
1.1. Magnituds d'interès oceanogràfic	3
1.2. Dispositius de baixa resolució: els CTD.....	3
1.2.1. Definició, característiques i aplicacions.....	4
1.2.2. Principi d'operació.....	4
1.2.3. Inconvenients.....	5
1.3. Dispositius d'alta resolució: microprofilers o sondes de microestructura	6
1.3.1. Definició, característiques i aplicacions.....	6
1.3.2. Principi d'operació.....	6
1.3.3. Inconvenients.....	7
CAPÍTOL 2. SALINITY SPIKING.....	8
2.1 Descripció del fenomen	8
2.2 La detecció de zones de barreja d'aigua.....	8
2.2.1 Concepte de turbulència	8
2.2.2 Desplaçament de <i>Thorpe</i>	9
2.2.3 Desplaçament de <i>Thorpe</i> vs. <i>salinity spiking</i>	10
2.3 Salinity spiking en CTDs.....	11
2.4 Salinity spiking en les sondes de microestructura	12
2.4.1 Causes	12
2.4.1.1 Diferència de cel·les mesurades	12
2.4.1.2 Efecte de moviment del vaixell.....	12
2.4.1.3 Desajustament de respostes dinàmiques entre els sensors.....	13
2.4.2 Tècniques de resolució de <i>salinity spiking</i>	14
2.4.2.1 Sharpening.....	14
2.4.2.2 Adquisició dels valors finals	16
CAPÍTOL 3. TESTS I DISSENY DE MÈTODES DE CORRECCIÓ	18
3.1 Tests conceptuals.....	18
3.1.1 Obtenció dels perfils de sortida teòrics	18
3.1.2 Processament de les dades amb filtres idèntics	20
3.1.3 Processament de les dades amb diferents filtres.....	22
3.1.3.1 Temps de resposta propers	22
3.1.3.2 Temps de resposta distants.....	23
3.2 Tests sobre el rang de dades d'entrada i aplicacions de detecció d'spikes	25
3.2.1 Variació del rang de dades.....	25
3.2.1.1 Variació molt alta de temperatura	25
3.2.1.2 Variació mitjana de temperatura	27
3.2.1.3 Variació molt baixa de temperatura.....	28

3.2.2 Mètode de detecció d' <i>spikes</i>	30
3.2.2.1 Variacions simètriques de temperatura i conductivitat	30
3.2.2.2 Variacions no simètriques de temperatura i conductivitat	34
3.3 Mètodes de minimització del salinity spiking	36
3.3.1 Mètode de <i>sharpening</i>	37
3.3.1.1 Retallada del temps de resposta.....	37
3.3.1.2 Comparació amb sistemes on no s'aplica sharpening	38
3.3.1.3 Minimització del salinity spiking	39
3.3.1.4 Tests en altres sistemes	40
3.3.1.5 Detecció d' <i>spikes</i> en funció del rang d'entrada.....	41
3.3.2 Mètode d'interpolació	42
3.3.3 Aplicació dels mètodes a dades experimentals.....	44
 CAPÍTOL 4. CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS.....	 52
4.1 Conclusions	52
4.2 Treballs futurs	53
 BIBLIOGRAFIA	 54
 ANNEXES	 57

INTRODUCCIÓ

L'adquisició i el processament de dades oceanogràfiques obtingudes a partir de sondes de mesura subaquàtica és una eina molt útil a l'hora d'estudiar i avaluar el comportament dels diversos fenòmens que conformen un entorn marí. En aquest sentit, gràcies als avenços tecnològics aconseguits en els darrers anys, l'ús de sondes o mòduls de sensors cada vegada està cobrant més importància en oceanografia. A partir de la mesura dels paràmetres físics en aquest medi, podem dissenyar moltes aplicacions que proporcionin resultats que responguin a un interès biològic i ecològic.

Aquest projecte versa sobre la definició, l'estudi i la correcció de zones d'error de mesura formades en els perfils de salinitat i densitat. Aquest efecte s'anomena *salinity spiking*.

Els objectius principals del projecte són:

- Realitzar una cerca i estudi bibliogràfic que ens permeti situar en el projecte.
- Analitzar el fenomen del *salinity spiking* en tot tipus de sondes.
- Justificar l'efecte del *salinity spiking* en CTDs i cercar mètodes de correcció existents.
- Estudiar la viabilitat d'aquests mètodes en les sondes de microestructura.
- Avaluar els mètodes de resolució de *salinity spiking* per sondes de microestructura i executar tests que reflecteixin aquestes tècniques.
- Idear mètodes propis de correcció del *salinity spiking*.

Per tal de reflectir aquests objectius, es divideix el projecte en els següents capítols:

Instruments de mesura de paràmetres oceanogràfics. Per començar, s'efectua una cerca de les magnituds més significants en termes oceanogràfics, com són la temperatura, la pressió, la conductivitat, la salinitat i la densitat.

Tot seguit, cal determinar quins instruments són els més capacitats per mesurar aquestes magnituds. Dins de la instrumentació oceanogràfica hi ha un rang ample d'equips que volen cobrir un determinat segment de mesura. En aquest sentit, les sondes oceanogràfiques més comunes en la mesura d'aquests paràmetres, es dividirien en dos grans grups. El primer correspon a les sondes de baixa resolució espacial –per exemple, els CTD –; són instruments aptes per mesurar entorns que continguin singularitats espacials que variïn molt lentament, com els oceans (les seves mesures ens proporcionaran informació de patrons més generalistes). El segon grup és relatiu als anomenats *microprofilers* o sondes de microestructura. Són mòduls de sensors que presenten alta resolució espacial, capaços de mesurar entorns amb característiques espacials molt variants. Aquesta alta resolució ens permet monitoritzar àrees d'aigua d'uns pocs metres de fondària –variacions a petita escala –, com ara llacs o badies.

La definició dels dos tipus de sonda ve acompanyada d'una menció als punts febles que presenten els seus usos. A més a més, el capítol es completa amb un exemple comercial, on es llisten les seves especificacions. Pel que fa als CTDs, la sonda escollida és el *SBE 911plus*, de la casa *Seabird*, mentre que en les sondes de microestructura es considera l'*SCAMP*, del fabricant *PME* (les dades de la qual són utilitzades en el capítol de tests).

Salinity spiking. Aquest capítol introdueix l'element principal d'estudi del projecte. És un efecte que es basa en l'aparició d'errors en el càlcul de la salinitat i la densitat. Aquests errors es tradueixen en significatives desviacions en els perfils, en forma de pics o punxes –*spikes*–. La causa principal d'aquest efecte pot venir donada per la diferència de respostes dinàmiques entre els sensors de temperatura i conductivitat, o bé per petits errors a l'hora de realitzar la mesura (tant de conductivitat com de temperatura).

Un cop feta la definició, s'estudia l'efecte dels *spikes* pels CTDs i pels *microprofilers*. Pel que fa als CTDs, s'esmenten les possibles causes i es descriuen diversos mètodes per la correcció dels *spikes* existents a la bibliografia.

Tot seguit, s'expliquen les causes de l'efecte del *salinity spiking* per les sondes de microestructura i es comprova si els mètodes pels CTDs també són vàlids per aquestes sondes.

Tests i disseny de mètodes de correcció. Aquest capítol es basa en la cerca de mètodes o eines que ajudin a detectar, pal·liar i cancel·lar el *salinity spiking*. L'edició i realització d'aquests mètodes es duen a terme amb l'ajuda del software científic *Matlab*[®]. Les dades sobre les quals es treballa són o bé dades de test teòriques o dades experimentals que provenen de sondes de microestructura, com ja s'ha comentat anteriorment.

En primer lloc, s'exposen una sèrie de tests que repassen i amplien conceptes sobre els *spikes* estudiats prèviament i expliquen millor els factors que produeixen l'aparició d'aquests errors. Seguidament, es procedeix amb els tests que apliquen mètodes propis de detecció i correcció de pics de salinitat. Són mètodes de processament i tractament de dades que es fonamenten en la teoria de conceptes com el filtratge, el processament del senyal o amb la estadística.

Per bé que les primeres propostes requereixen dels paràmetres d'entrada dels filtres per ser viables, en moltes ocasions ens podem trobar que no disposem d'aquests paràmetres. Per tant, per tal de millorar aquesta solució, es planteja una proposta que elimina l'efecte del *salinity spiking* únicament coneixent les dades resultants i aplicant processos estadístics.

Conclusions. Aquest apartat revisa i confirma l'assoliment dels objectius inicials que ens havíem marcat, i menciona els problemes que han aparegut. D'altra banda, també s'inclou un plantejament de línies futures donant marge a properes investigacions en el tractament de dades oceanogràfiques.

CAPÍTOL 1. INSTRUMENTS DE MESURA DE PARÀMETRES OCEANOGRÀFICS

1.1. Magnituds d'interès oceanogràfic

En l'entorn de l'oceanografia hi ha diverses magnituds que mereixen el seu estudi degut a la influència o pes que puguin tenir en l'explicació de fenòmens marins. En el present projecte es treballarà fent ús d'algunes d'aquestes propietats i magnituds, a través de les quals s'obtenen paràmetres que permeten la detecció i l'estudi de processos com la turbulència a petita escala. A causa de l'entorn i de les característiques pròpies de l'equip, apareixen efectes indesitjats en forma d'errors a l'hora de processar les dades. Com hem esmentat anteriorment, aquest projecte es centra en l'anàlisi i estudi d'un d'aquests errors anomenat *salinity spiking*.

Els instruments oceanogràfics disposen de diversos sensors que són capaços d'adquirir mesures de paràmetres com la temperatura, la conductivitat elèctrica, la pressió, la concentració de clorofil·la o l'oxigen. La mesura de cada magnitud respon a una aplicació en concret i pot proporcionar dades importants que siguin d'interès biològic dins l'ecosistema aquàtic. D'aquesta manera, els resultats que es poden obtenir d'aquestes sondes reflecteixen el comportament dels paràmetres físics mesurats i permeten realitzar una anàlisi acurada dels processos biològics.

Tot i que els equips amb els que es treballa contenen diversos sensors, el projecte se centra només en les dades obtingudes a partir dels sensors de temperatura i conductivitat, ja que a partir d'aquestes magnituds obtindrem la densitat i la salinitat, paràmetres afectats pels problemes dels sensors a l'hora de l'adquisició de dades.

L'Annex A fa una descripció exhaustiva de les magnituds físiques tractades en l'àmbit oceanogràfic, com són la temperatura, la conductivitat elèctrica, la pressió, la salinitat i la densitat.

1.2. Dispositius de baixa resolució: els CTD

Un cop definides les magnituds oceanogràfiques principals, ara caldrà cercar els dispositius i equips adients per dur a terme les seves mesures. A l'hora d'establir un criteri per escollir un dispositiu, necessitem primer definir l'aplicació pel qual el volem. Ens pot interessar una aplicació en què es mostregi mesures d'un àmbit oceànic –mar o oceà –, o bé una aplicació que cobreixi dades d'entorns amb fondàries reduïdes, com en un llac o una badia, on es vol caracteritzar patrons a petita escala. En aquest segon cas requerirem de poca distància entre mostres, per tal d'estudiar i analitzar millor una columna d'aigua

curta, ja que són medis on les característiques espacials són molt variants. Pel que fa al primer cas, no és imprescindible disposar d'una resolució espacial alta, ja que els paràmetres i característiques de la columna d'aigua varien lentament. Així doncs, en tindríem prou amb una resolució, per exemple, d'una mostra per cada 10 cm, per disposar de dades representatives de cara a l'estudi d'aquest entorn. Aquest apartat se centra en els equips de baixa resolució, un grup important dels quals són els *CTDs*.

1.2.1. Definició, característiques i aplicacions

Els *CTDs* (*Conductivity Temperature Depth*) són instruments capaços de mesurar la conductivitat, temperatura i pressió d'un entorn marí, tot i que també poden contenir altres sensors.

En el cas de sondes completament equipades, poden incorporar sensors d'oxigen, que mesuren com a magnitud principal la pressió parcial d'oxigen. Degut a que el temps d'adquisició oscil·la aproximadament entre 4 i 24Hz, i a la necessitat de mesurar columnes d'aigua de grans profunditats, és necessari que la velocitat de descens de l'equip sigui elevada. Aquesta elevada velocitat fa que, com ja hem comentat anteriorment, aquests equips presentin una resolució espacial relativament baixa. La resolució temporal va directament relacionada amb la resolució espacial que tenim, de tal manera que com més ràpid es mostreja les mesures, més curta és la distància entre aquestes.

Són els equips electrònics de mesures marines més antics que existeixen, els primers models daten de principis dels anys 70. Tot i això, són els equips més desenvolupats i més contrastats en el camp de l'oceanografia.

En relació als exemples comercials, podem esmentar el *SBE 911plus*, del fabricant *Seabird*, un dels més consolidats del sector. L'annex B.1 descriu les seves característiques i en detalla les especificacions.

1.2.2. Principi d'operació

El seu principi de funcionament es basa en la captura d'un perfil vertical o columna d'aigua tant en el sentit ascendent com descendent **Error! Reference source not found.** L'instrument és desplaçat en el fons marí a través de l'acció mecànica d'agents externs, com pot ser un cabrestant, de tal manera que es pot fixar o controlar la velocitat de baixada o pujada externament. Aquesta velocitat determina en part la resolució espacial que la mesura ofereix. Un cop adquirides les mesures corresponents als dos perfils, les dades, que havien estat emmagatzemades en una memòria interna del dispositiu, poden ser transferides a un ordinador per ser tractades a bord. La figura 1.1 mostra un esquema del perfil que segueix el *CTD*.

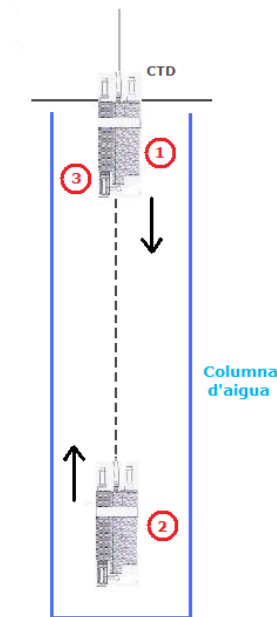


Figura 1.1 Esquema del perfil aquàtic que realitza una sonda CTD. El llançament es mostra en 1; en 2 arriba a la profunditat desitjada i comença a emprendre el perfil ascendent; en 3 assoleix la superfície de nou

El fet de realitzar un escaneig de la mateixa columna d'aigua en dos ocasions –baixada i pujada– pot ocasionar una certa barreja d'aigües en la columna que tingui influència en les mesures. Tanmateix, com que es tracta de profunditats tan elevades, aquesta possible barreja no afecta de forma significativa al global del perfil de les dades obtingudes. De totes formes, només s'acostuma a tenir en compte les dades del perfil de baixada, mentre que les de pujada s'eliminen.

1.2.3. Inconvenients

Aquests equips presenten una sèrie de punts febles de cara al seu ús [2]. En primer lloc, com ja s'ha apuntat, tenen una baixa resolució temporal. Això, unit al fet que aquests instruments mesuren columnes d'aigua molt llargues, fa que l'escaneig de tota la columna pugui tardar molt a efectuar-se.

En segon lloc, són equips que acostumen a ser poc lleugers i ocupen molt de volum. També requereixen d'una infraestructura mecànica externa que els permeti endinsar-se sota l'aigua. Per altra banda, com que estan connectats directament a un vaixell, l'efecte de l'onatge (*ship motion*) es transmet al mateix instrument de mesura que va operant. Aquest efecte es tradueix en un moviment de vaivé en l'equip que influirà en les mesures finals, podent causar errors.

La posició física dels sensors també té la seva incidència en les mesures finals. El fet que els sensors estiguin separats una certa distància fa que adquireixin mesures de cel·les diferents per cada mostra. Aquest fet també pot provocar errors en els resultats obtinguts.

Per últim, cal mencionar l'efecte del *salinity spiking*. Es basa en el fet que els sensors de temperatura i conductivitat no són igual de ràpids, i presenten diferents temps de resposta així com característiques diferents. Aquest desajustament provoca certs errors en el càlcul dels perfils de salinitat i densitat. L'apartat 2.3 amplia la informació sobre aquest fenomen.

1.3. Dispositius d'alta resolució: *microprofilers* o sondes de microestructura

1.3.1. Definició, característiques i aplicacions

Els *microprofilers* o sondes de microestructura són instruments de mesura, i es caracteritzen per oferir una alta resolució espacial. Això fa que aquests mòduls siguin idonis per mesurar àmbits marins no gaire profunds, on les característiques espacials variïn ràpidament. Aquest pot ser el cas, per exemple, de llacs, estancs o badies.

Tanmateix, existeixen exemples de *microprofilers* que no operen en àmbits de petita escala. Aquest és el cas del *Turbomap*, que pot treballar en entorns oceànics (profunditats 200m-500m) oferint també una alta resolució en la mesura de molts paràmetres [3].

Les sondes de microestructura són equips aquàtics de construcció recent. Per això incorporen una electrònica més complexa i sofisticada, que garanteix una alta resolució, i alta precisió i exactitud a l'hora de realitzar l'adquisició.

Per tal que les diverses proves obtinguin resultats significatius en el projecte, s'ha escollit un model comercial, a partir del qual treballarem d'ara en endavant. Aquesta sonda comercial és l'*SCAMP*, del fabricant californià *PME (Precision Measurement Engineering)*. L'annex B.2 en mostra totes les seves especificacions i característiques.

1.3.2. Principi d'operació

Com a principi de funcionament, a diferència dels *CTDs*, són generalment equips de caiguda lliure, que descendeixen per la pròpia configuració del dispositiu. Aquestes sondes són molt més lleugeres que els *CTDs* i, per tal de fer efectiva la baixada, és necessari l'ajut d'un pes addicional que faci descendir l'aparell. Disposem també de dos possibles modes de mesura: mode de descens o mode d'ascens.

En l'apartat B.2 de l'annex es completarà la definició del principi de funcionament a partir d'un exemple comercial.

1.3.3. Inconvenients

La mesura de paràmetres físics a través de sondes de microestructura reporta unes quantes carències que cal fer esment. Un dels punts febles és la poca robustesa envers el soroll, degut a l'alta sensibilitat que presenten aquestes sondes en zones de canvi brusc o gradient alt. El soroll representa una clara font de distorsió i incertesa en la mesura final. Existeixen mètodes per minimitzar l'efecte del soroll, basant-se en tècniques espectrals i de filtratge, com el *Wavelet Denoising*.

Per altra banda, com en el cas dels CTDs, l'efecte del *salinity spiking* és un altre dels punts febles a considerar. L'apartat 2.4 explica detalladament l'efecte d'aquest fenomen en les sondes de microestructura.

CAPÍTOL 2. SALINITY SPIKING

2.1 Descripció del fenomen

El *salinity spiking* és un fenomen consistent en l'aparició d'errors de mesura en els perfils de salinitat i, com a conseqüència, en els perfils de densitat. Aquests errors es manifesten en forma de grans desviacions (pics o *spikes*) dels valors mesurats respecte els valors esperats.

Aquest error pot venir donat per dues situacions diferents. En primer cas, pot ser deguda a què els sensors de temperatura i conductivitat responen dinàmicament de forma diferent. És a dir, presenten diferents temps de resposta, i això implica que els valors de temperatura i conductivitat no siguin els reals; per tant, a l'hora de calcular la salinitat i densitat, en utilitzar mesures adquirides en diferents instants de temps, el resultat obtingut resulta erroni. Aquest fet propicia l'aparició d'*spikes* en els perfils calculats [5]. En segon cas, el *Salinity Spiking* ve provocat per errors en la mesura dels sensors. Degut a les característiques pròpies dels sensors, la mesura pot ser distorsionada per partícules que suren al medi.

La detecció i correcció dels *spikes* és necessària, ja que aquestes regions d'error indiquen la presència de zones de barreja on realment no hi són. Per tant, causen problemes a l'hora d'interpretar les dades, tal com s'estudia àmpliament en el següent apartat.

2.2 La detecció de zones de barreja d'aigua

2.2.1 Concepte de turbulència

La turbulència és un règim fluid que es basa en canvis de propietat estocàstics. En el medi aquàtic, aquests canvis sovint es manifesten en barreges d'aigua dins una mateixa columna.

L'estudi dels patrons de barreja i el modelatge d'un entorn determinat ens pot permetre avaluar, i fins i tot predir, com es comportarà un element contaminant en aquest règim turbulent. També ens pot permetre detectar com afectarà aquest estadi a la comunitat fitoplànctònica que és desplaçada, per efecte de la turbulència, a zones on la radiació solar és molt reduïda [7].

Hi ha diversos exemples de turbulències que poden alterar la distribució d'una columna d'aigua. En un entorn oceanogràfic en repòs, teòricament el perfil de la temperatura decreix amb la profunditat, és a dir, l'aigua més calenta romandria a la superfície. Posem com a exemple que s'efectua una aportació

d'aigua molt freda a la superfície, això produiria que l'evolució de la temperatura ja no fos decreixent a tota la columna d'aigua. De fet, a la superfície hi hauria aigua més freda que a nivells inferiors, cosa que trencaria la tònica del perfil en repòs. Aquesta aigua freda aportada tendiria a baixar fins a assolir la profunditat que li correspondria, i així adquirir altre cop l'estat de repòs.

Un altre exemple seria el refredament de l'aigua de la superfície a la nit. Aquest fet també causaria una barreja d'aigua, on les aigües de la superfície –que han experimentat un descens de temperatura- correspondrien a profunditats més baixes.

2.2.2 Desplaçament de *Thorpe*

La detecció i l'anàlisi de turbulències pot ser molt útil en oceanografia, de cara, per exemple, a estudis de caràcter mediambiental dels processos biològics del medi. Una eina molt comuna que permet detectar una turbulència o zona de barreja és la implementació i càlcul de l'anomenat desplaçament de *Thorpe*.

Per obtenir el desplaçament de *Thorpe* partirem de les dades de densitat obtingudes a partir de les dades de temperatura i conductivitat. A partir d'aquí, obtindrem un perfil de densitat estable (mostres menys denses a la part superior i més denses a la part inferior) el qual compararem amb el perfil original. Les diferències obtingudes representen un perfil del desplaçament de *Thorpe*. [8].

La figura 2.1 representa el desplaçament de *Thorpe* calculat a partir de perfils teòrics i experimentals. Les dades calculades experimentalment corresponen al perfil de l'esquerra. Les dades editades i ordenades de forma monotònica es mostren en el perfil del mig. Com es pot observar, s'il·lustra la correcció d'una determinada mostra experimental, que té el seu equivalent a un cert punt més profund en la densitat monotònica. El desplaçament vertical que s'efectua per anar d'un punt a l'altre es tradueix en el mateix desplaçament però horitzontal ($d_t(i)$) en el gràfic dels desplaçaments de *Thorpe*, que tenim a la dreta.

El gràfic del desplaçament de *Thorpe* (d_t) indica el valor dels desplaçaments que cada mostra del perfil experimental efectua en ser corregida en el perfil monotònic. Les mostres o àrees que presenten un desplaçament de *Thorpe* major que zero son les zones de barreja. Un altre paràmetre destacat és l'anomenat índex de desplaçament (*displacement index*), que defineix el percentatge de mostres dins un perfil que formen part d'una zona de turbulència.

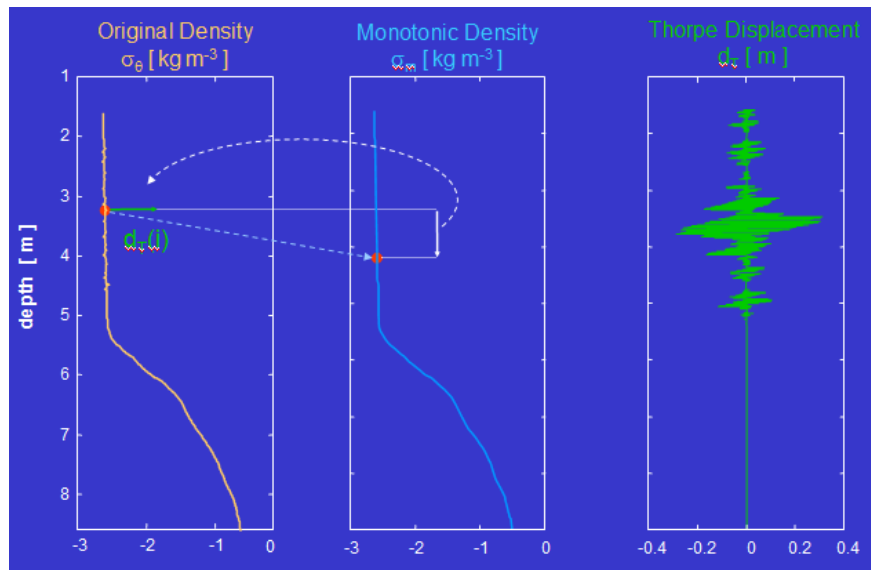


Figura 2.1 Mostra gràfica del càlcul del desplaçament de *Thorpe*. A l'esquerra, densitat calculada experimentalment. Al mig, densitat corregida monotònicament. A la dreta, càlcul del desplaçament de *Thorpe*

2.2.3 Desplaçament de *Thorpe* vs. *salinity spiking*

El desplaçament de *Thorpe* pren una importància considerable en l'anàlisi de la turbulència com un efecte no local. És a dir, en lloc de considerar la turbulència com un sol intercanvi entre dos cel·les d'aigua, considerem un efecte més complex (amb més fonts i destinacions que en el cas anterior). L'aplicació d'aquests mètodes i l'anàlisi necessari, comporta un increment computacional considerable i un increment de la complexitat de l'anàlisi. En aquest punt el desplaçament de *Thorpe* ens ajuda a realitzar una aproximació analítica dels mètodes no locals reduint en gran mesura la càrrega computacional.

L'efecte del *salinity spiking* i el desplaçament de *Thorpe* estan molt relacionats. La importància en la detecció i eliminació dels *spikes* no s'entendria sense abans saber la incidència que els pics de salinitat tenen en la implementació del desplaçament de *Thorpe*. Els *spikes* afecten el desplaçament de *Thorpe* afegint desplaçaments majors que zero en zones on no existeix barreja d'aigua. Aquest fet fa que el desplaçament de *Thorpe* no proporcioni informació correcta i causi errors a l'hora d'interpretar els resultats i detectar zones turbulents.

Per tant, amb la correcció dels *spikes* -que és l'objectiu principal del nostre projecte-, assurem que les dades que proporciona el desplaçament de *Thorpe* són correctes, i millorem el procés de detecció de zones de barreja.

El *salinity spiking* no és l'únic element que distorsiona el càlcul del desplaçament de *Thorpe*. Tot i que no és objecte d'estudi en el nostre projecte, un altre factor important és la sensibilitat del sistema envers el soroll en zones de ràpides variacions. És per això que s'utilitza un processament previ per tal de reduir aquest soroll, sense alterar les desviacions causades per l'acció d'un

medi turbulent. Sense entrar en més detalls, mencionem que aquests mètodes de reducció de soroll es basen en l'aplicació de la transformada de *Wavelet* [9][10].

2.3 Salinity spiking en CTDs

Tal com hem avançat en el capítol 1.2, els CTDs contenen sensors de temperatura i conductivitat que majoritàriament presenten temps de resposta diferents, sent el sensor de conductivitat més ràpid. Així doncs, la resposta dinàmica d'ambdós sensors tampoc és equivalent, i això fa que en l'instant d'adquisició, les lectures de la mesura presentin valors on l'error produït és diferent en cada un dels sensors. A més a més, els valors de la lectura són diferents respecte els valors que hauríem d'obtenir a la mesura. Això passa si el temps d'adquisició és menor que els temps de resposta dels sensors.

La figura 2.2 explica de forma gràfica aquesta primera possible causa d'aparició d'*spikes*. D'una banda, tenim la resposta a l'esglaó pel sensor de temperatura i pel de conductivitat. T_a representa l'instant d'adquisició, i x - y el percentatge del valor teòric que la mesura hauria adquirit en aquest instant. D'altra banda, tenim la possible conseqüència d'aquest desajustament dinàmic: l'aparició d'*spikes*. Podem veure un exemple de perfils on salinitat i densitat reflecteixen aquest efecte. Com s'observa, la densitat conté *spikes* molt menys pronunciats. Això és degut a què la densitat depèn en principi de la temperatura i de la salinitat –veure Annex A –, però en aquest cas la temperatura té un paper més determinant ja que presenta una variació més ràpida. Per tant, la dependència amb la salinitat no és gaire alta, i els pics d'error no es veuen tan reflectits [4].

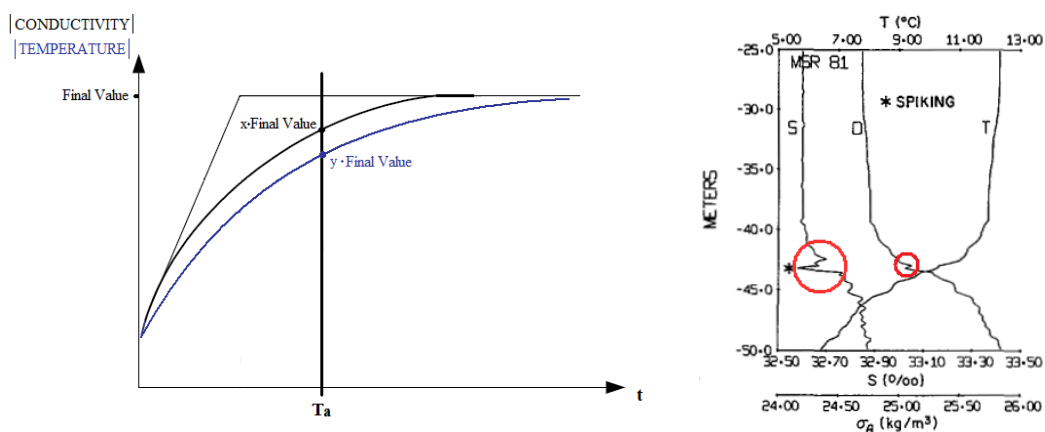


Figura 2.2 A l'esquerre, resposta a un esglaó dels sensors de temperatura i conductivitat. A la dreta, possibles perfils de temperatura (T), salinitat (S) i densitat (D) per a aquests sensors, amb els corresponents *spikes* encerclats

És interessant considerar el cas en què els temps de resposta fossin iguals. En aquest cas, les respostes dinàmiques serien idèntiques i les mesures

contindrien el mateix error. Encara que aquest error no fos zero (cas en què el temps d'adquisició és menor que els temps de resposta), aquestes mesures no provocarien cap mena d'efecte de *salinity spiking* en la computació dels perfils de salinitat i densitat. En cas que els temps de resposta fossin diferents, però el temps d'adquisició fos major que ells, els errors en les mesures serien nuls en ambdós casos; per tant, tampoc provocarien l'aparició de pics de salinitat.

Hi ha diverses causes més que propicien l'aparició d'efectes de *salinity spiking* en CTDs. Aquestes causes s'analitzen en profunditat en l'apartat C.1 de l'annex. Pel que fa a les tècniques de resolució d'*spikes* en CTDs existents a la bibliografia, aquestes estan explicades en l'apartat C.2 de l'annex.

2.4 Salinity spiking en les sondes de microestructura

2.4.1 Causes

En aquest apartat s'estudien els efectes que produeixen l'aparició de pics de salinitat en els perfils de dades. En aquesta línia, s'analitzen i es comparen les causes amb les causants dels mateixos efectes a les sondes CTD. Per altra banda, s'estudia si els mètodes de correcció per aquestes són aplicables a les sondes de microestructura.

2.4.1.1 Diferència de cel·les mesurades

Una de les possibles causes de generació de pics de salinitat era el fet que els sensors estaven ubicats a certa distància, i això feia que mesuressin cel·les d'aigua diferents. Aquest motiu no aplica a les sondes de microestructura, ja que generalment els sensors estan ubicats de tal manera que la distància entre ells es considera negligible. Per tant, es pot afirmar que s'adquireix la mateixa cel·la de mesura per cada mostra.

A més a més, com que estem tractant amb sistemes de molta alta resolució, la distància entre les mostres serà molt baixa. En el nostre equip, per exemple, és d'1 mm per mostra. Per tant, es consideren negligibles els canvis de temperatura o conductivitat elèctrica que es puguin experimentar en aquesta distància. Això fa que les mesures adquirides ja no conformin una interpolació de dades, sinó que reflecteixin una única mesura.

2.4.1.2 Efecte de moviment del vaixell

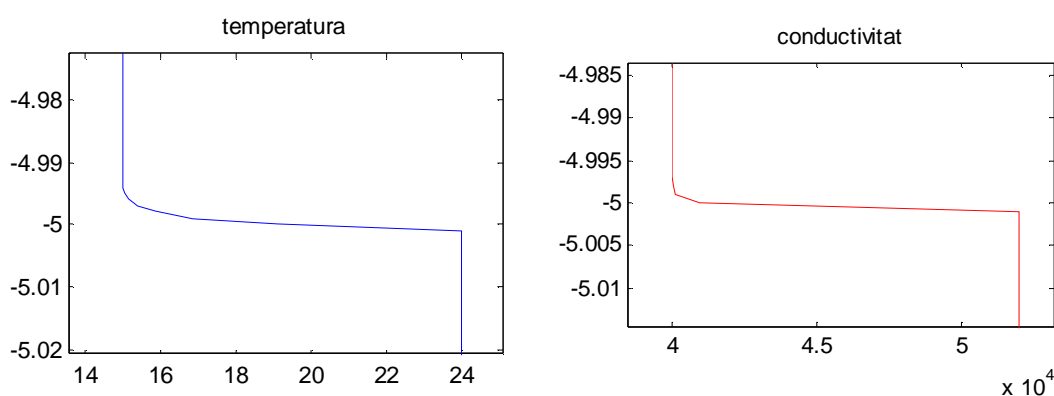
En relació a l'efecte anomenat *ship motion*, pel qual el vaixell es mou a causa de l'onatge i provoca irregularitats en la mesura, tampoc té incidència en les sondes de microestructura. De fet, aquest efecte no existeix per aquestes

sondes, ja que el moviment del vaixell no hi influeix. Com que els equips són de caiguda lliure, i no van lligats al vaixell per cap mena de mecanisme mecànic que els impulsi, tampoc són sensibles a les ones que mouen el vaixell. Així doncs, no tindrem en compte aquest efecte ni les possibles correccions que s'havien plantejat pels *CTDs*.

2.4.1.3 Desajustament de respostes dinàmiques entre els sensors

La diferència de respostes dinàmiques és el principal efecte que justifica el fenomen del *salinity spiking* per les sondes de microestructura. La definició d'aquest efecte és equivalent a la que ja s'ha fet pels *CTDs*. La diferència de temps de resposta per part dels sensors de temperatura i conductivitat (80 ms per 25 ms respectivament, en el cas de l'*SCAMP* i tenint en compte les etapes de processament posterior), provoca una diferència d'error en ambdues mesures. Aquest desajustament només succeeix en cas que el temps d'adquisició (10 ms en l'*SCAMP*) sigui menor a qualsevol dels temps de resposta.

A banda de representar una font d'errors important que cal prendre en consideració, el *salinity spiking* també pot causar errors en la interpretació final dels resultats. La figura 2.3 ens en mostra un exemple. La zona de les mostres on s'ubica l'*spike* és més densa que totes les mostres anteriorment adquirides des de la superfície. En situació de repòs, això no seria lògic, ja que aquestes mostres haurien de pertànyer a l'àrea més profunda, que és la que presentaria una densitat major en tot el perfil. Això vol dir que o bé l'aigua està barrejada, o bé que hi ha un error de mesura –*salinity spiking*-. En la figura 2.3 es veu clarament com es tracta d'un error de mesura, ja que en els perfils de temperatura i conductivitat no es reflecteix cap signe de barreja.



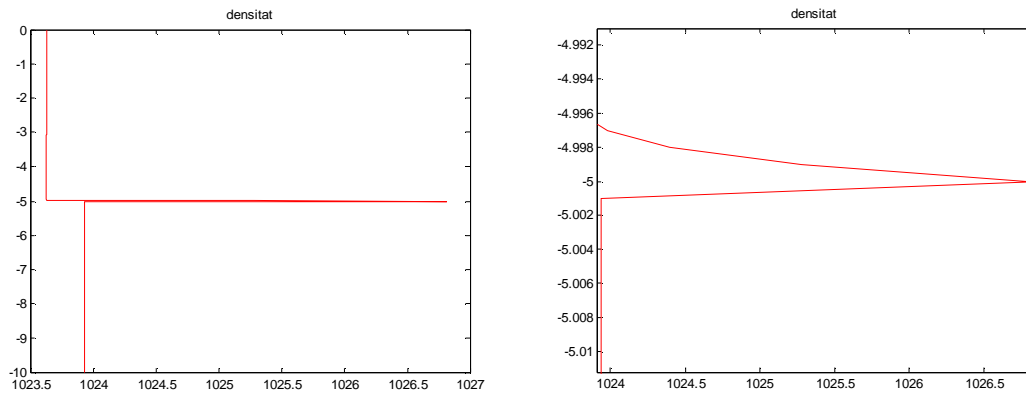


Figura 2.3 A dalt, exemple de perfils mesurats de temperatura i conductivitat, on l'aigua no està barrejada. A la part inferior esquerra, la densitat calculada a partir d'aquests perfils, i a la dreta, ampliació de l'*spike* aparegut

2.4.2 Tècniques de resolució de *salinity spiking*

Tal com s'ha explicat en l'apartat anterior, una de les causes d'aparició de *salinity spiking* amb sondes de microestructura és la diferència de temps de resposta dels sensors de temperatura i conductivitat. Tal com s'indica en l'apartat C.2.1 de l'annex, les tècniques espectrals són freqüents en els CTDs per minimitzar l'efecte dels pics de salinitat, i també ho són pel cas de les sondes de microestructura.

A continuació, l'apartat 2.3.2.1 descriu la tècnica espectral més coneguda per reduir els *spikes*, el *sharpening* o emfatitzant.

2.4.2.1 *Sharpening*

El *sharpening* o emfatitzant és un mètode espectral de reducció d'*spikes* que es basa en aconseguir que els temps de resposta dels sensors de temperatura i conductivitat siguin el més semblants possible. Es parteix de la base que el comportament dels sensors es pot assimilar a la resposta d'un filtre passa baixes de primer ordre [6].

La figura 2.4 il·lustra aquesta tècnica. Partim del sensor més lent, caracteritzat per un filtre amb freqüència de tall f_c . Tot seguit recuperarem totalment el senyal d'entrada multiplicant per l'espectre invers del filtre. D'aquesta manera realitzem una emfatització (*sharpening*) del senyal d'entrada i obtenim una resposta ideal, totalment plana en freqüència. Per tant, l'efecte del filtre del sensor passaria a ser nul, i no hi hauria cap error a l'hora de mesurar cap mostra. Tanmateix, com es pot veure en el dibuix, el soroll existent s'amplifica notablement en altes freqüències. Per tant, existeix un compromís entre la recuperació exacta del senyal i l'amplificació excessiva del soroll. Per complir

aquest compromís, es duu a terme el que s'anomena *smoothing* (suavització del senyal). Aquest procés aplica un filtre addicional de freqüència de tall f_c' major a la del filtre original, de tal manera que el temps de resposta global acabi sent menor. Podem ajustar la f_c' escollida a la freqüència de tall del filtre més ràpid, per d'aquesta forma, obtenir dues respostes dinàmicament iguals tant per la mesura de la temperatura com per la de conductivitat.

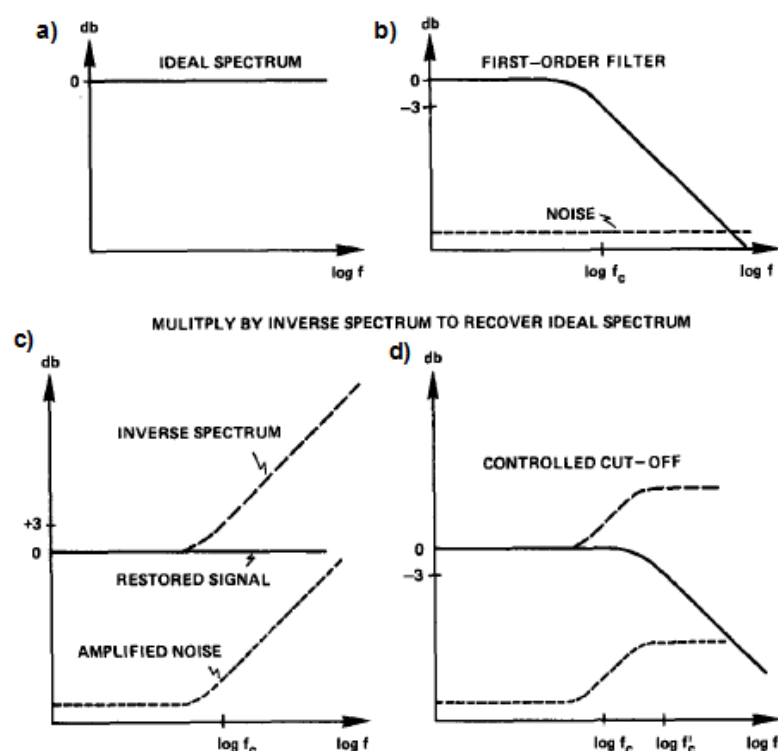


Figura 2.4 A la figura *b*, filtre que defineix el comportament del sensor, juntament amb el soroll. A la figura *a*, resposta ideal per tal de recuperar exactament el senyal d'entrada. A la figura *c*, procés de *sharpening* que obté l'espectre ideal, però amplifica el soroll en excés. A la figura *d*, procés de *smoothing* on s'afegeix un filtre amb freqüència de tall f_c' , que permet assolir una bona aproximació del senyal d'entrada sense amplificar massa el soroll

Tot seguit, apliquem aquest mètode a l'*SCAMP*. Atenent a les especificacions - veure taula B.4 de l'annex -, la freqüència de tall del mòdul de temperatura (sensor + etapa electrònica) és de 12.5 Hz, mentre que la del de conductivitat és de 40 Hz. Podem optar per dues vies, o bé per augmentar la freqüència de tall pel sensor de temperatura fins arribar al de conductivitat, o a l'inversa. S'escull ajustar els paràmetres del sensor de temperatura al de conductivitat, ja que d'aquesta manera el sensor de temperatura respondria més ràpid i reflectiria millor les singularitats del perfil d'entrada de la temperatura. A més a més, no perdríem les singularitats que ens proporciona un sensor de conductivitat més ràpid.

Així doncs, partint del filtre que defineix el sensor de temperatura, amb freqüència de tall (f_c) de 12.5 Hz, es multiplica en freqüència per la inversa de l'espectre. Això proporciona una resposta plana, que cal filtrar de nou per pal·liar l'excessiu augment del soroll. El nou filtre tindrà una freqüència de tall f_c' de 40 Hz, la mateixa que pel sensor ràpid, el de conductivitat. Així doncs, si fem l'anàlisi espectral, el comportament global del sensor de temperatura passaria a definir-se per un filtre amb freqüència de tall de 40 Hz. Això significa que presentaria el mateix temps de resposta que el sensor de conductivitat. Per tant, minimitzaríem l'efecte del *salinity spiking*.

Cal tenir en compte que l'aplicació d'aquest mètode requereix el previ coneixement dels paràmetres de cada sensor (freqüències de tall o temps de resposta).

2.4.2.2 Adquisició dels valors finals

Una altra tècnica que pot ser vàlida per reduir el *salinity spiking* és l'obtenció dels valors de temperatura i conductivitat teòrics per cada instant d'adquisició. El càlcul d'aquests valors permetria recuperar el senyal d'entrada en l'adquisició de les dues mesures sense cap error.

Com en el mètode *sharpening*, aquesta tècnica requereix conèixer els paràmetres dels filtres que representen cada sensor, ja sigui temps de resposta, constants de temps o freqüències de tall. El càlcul dels valors finals es basa en la resposta a una entrada esglaó d'un filtre passa baixes de primer ordre (veure Annex D). Com a exemple, podem partir de l'escenari de la figura 2.5, amb dos sensors que presenten temps de resposta diferents, i amb un temps d'adquisició que propicia un error diferent en cada sensor.

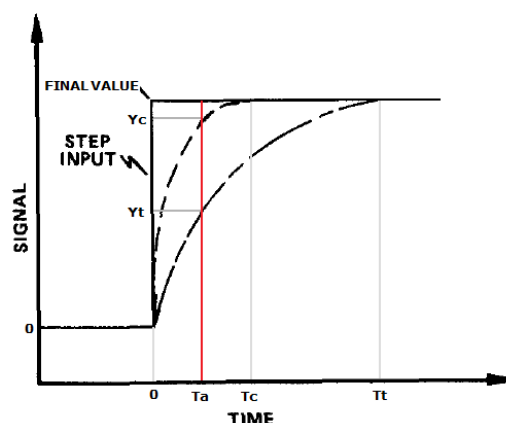


Figura 2.5 Representació temporal de la resposta a l'esglaó de dos filtres. *Final Value* seria el valor final de mesura, Y_c i Y_t serien els valors adquirits per cada sensor en l'instant d'adquisició T_a , i T_c i T_t serien els temps de resposta de cada sensor

La representació de la figura 2.4 podria correspondre a una possible sortida dels sensors de temperatura i conductivitat, amb valors adquirits Y_t i Y_c respectivament. Qualsevol valor adquirit Y diferent del valor final Y_f contindrà un error de mesura respecte a aquest valor final. Es tracta de fer nul aquest error, tot calculant el valor teòric. L'expressió 2.1 mostra la relació entre un valor adquirit qualsevol Y i el valor final o teòric de la mesura Y_f .

$$Y = Y_f \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_a}{\tau}} \right) \quad (2.1)$$

L'expressió ens indica que si coneixem el valor adquirit Y , el període d'adquisició T_a i la constant de temps del filtre τ , es pot calcular directament el valor final Y_f . En el cas de l'*SCAMP*, per exemple, coneixem aquests paràmetres. Si es computa aquest càlcul per totes les mostres que conformen els perfils de temperatura i conductivitat, s'aconseguiria recuperar exactament els senyals d'entrada. Per tant, s'obtindrien dos perfils resultants de mesures amb un error equivalent a zero, amb la qual cosa l'efecte del *salinity spiking* quedaria cancel·lat.

Es pot donar el cas de minimitzar l'efecte *spiking* sense haver de conèixer necessàriament les dades de tots dos sensors. Per exemple, si el sensor més ràpid ja té un temps de resposta inferior al període d'adquisició, la sortida d'aquest sensor ja no presentaria cap error, seria idèntica a l'entrada. Per tant, només necessitaríem els paràmetres del sensor més lent per operar amb ell.

CAPÍTOL 3. TESTS I DISSENY DE MÈTODES DE CORRECCIÓ

3.1 Tests conceptuals

En aquest apartat es pretén realitzar tests que permetin consolidar els coneixements que hem adquirit en els capítols anteriors sobre el processament de dades oceanogràfiques, i més concret, sobre el fenomen de *salinity spiking*. S'exposaran els resultats de cada prova així com les interpretacions que s'extrauen d'aquests resultats. Com en totes les proves d'aquest tercer capítol, els tests es duran a terme amb el suport del software científic *Matlab*[®].

3.1.1 Obtenció dels perfils de sortida teòrics

A partir de dades de test teòriques de temperatura i conductivitat, l'objectiu d'aquesta prova és calcular els perfils de salinitat i densitat teòrics. És a dir, determinar aquests perfils sense cap tipus d'error, com si els filtres dels sensors no influïssin.

Partim d'uns perfils d'entrada de temperatura i conductivitat amb 10,000 mostres al llarg de 10 metres de columna d'aigua. És a dir, la resolució espacial del sistema equival a un mil·límetre per mostra. El mode de mesura en totes les proves que es realitzen, si no es diu el contrari, és ascendent.

La distribució de les dades és:

- Temperatura: Senyal esglaó de 15 a 24 °C. L'esglaó es podria correspondre amb la termoclina –zona de màxima variació- d'un perfil experimental
- Conductivitat: Senyal esglaó de 40,000 a 52,000 S/m

La figura 3.1 il·lustra aquests els perfils d'aquests paràmetres d'entrada.

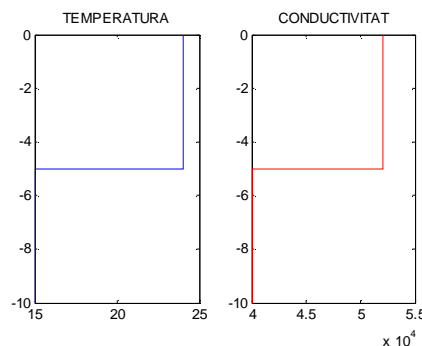


Figura 3.1 Representació de perfils teòrics de tests corresponents a la temperatura i la conductivitat

Aquestes dades d'entrada no es processen per cap filtre, ja que l'objectiu és calcular els paràmetres de salinitat i densitat teòrics, sense cap error. Aquest seria un escenari ideal, ja que a la pràctica sí que caldria tenir en compte l'efecte dels filtres corresponents als sensors. La figura 3.2 mostra l'esquema del sistema:

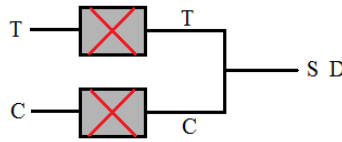


Figura 3.2 Esquema del sistema que forma el present test. T i C és la temperatura i conductivitat, mentre que S i D són la salinitat i densitat calculades. Com es veu, l'acció dels filtres no es considera

Per tal de calcular els perfils finals, s'han obtingut les expressions pertinents que relacionen els paràmetres de salinitat i densitat amb els de temperatura i conductivitat. Aquestes expressions s'han afegit al codi que hem confeccionat en *Matlab*[®], i els resultats obtinguts estan reflectits en la figura 3.3.

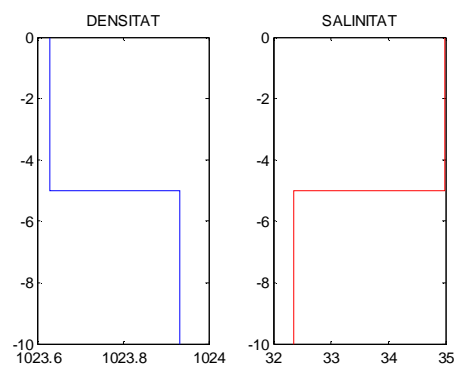


Figura 3.3 Càlcul dels paràmetres de densitat i salinitat

Els resultats obtinguts són també distribucions d'esglaó, on l'esglaó es produeix en la mateixa mostra que en els perfils d'entrada –a cinc metres de profunditat -. Per tant, quan s'esdevé el canvi brusca en temperatura i conductivitat, també es produeix una variació brusca en els paràmetres calculats.

Com es pot observar, la distribució del perfil de densitat és simètrica a la de la temperatura. La justificació resideix en la relació entre la densitat i la temperatura –veure Annex A -. En aigües calentes –superfície -, la densitat és baixa, i en aigües fredes –més profundes -, la densitat, alta.

3.1.2 Processament de les dades amb filtres idèntics

Aquesta prova mostra els resultats d'un sistema en què els dos perfils d'entrada són processats pel mateix filtre. Bàsicament es vol confirmar que la sortida del sistema no conté zones d'error relatives a l'efecte del *salinity spiking*. La figura 3.4 representa un esquema de l'escenari utilitzat.

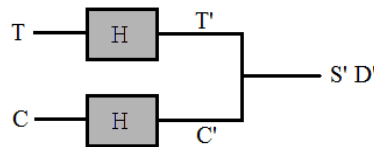


Figura 3.4 Diagrama de blocs del sistema. T és la temperatura, C la conductivitat, T' i C' són aquests paràmetres processats pel mateix filtre (H). S' i D' són la salinitat i densitat calculades respectivament

Les dades d'entrada són les mateixes que s'han utilitzat en el test anterior. En referència al filtre, s'utilitza un filtre passa baixes de primer ordre i freqüència de tall de 25 Hz.

En primer lloc, es calcula la representació de la temperatura i conductivitat processades pel filtre. La figura 3.5 mostra aquests resultats, on es pot observar la resposta del filtre a l'esglaió corresponent. La representació ampliada compara els perfils ideals –sense aplicar cap filtre– amb els perfils reals –amb l'aplicació del filtre –, aquests últims de color negre. Es pot observar que els perfils reals tarden més en adquirir els valors finals. El temps que tarden equivaldria al temps de resposta del nostre filtre.

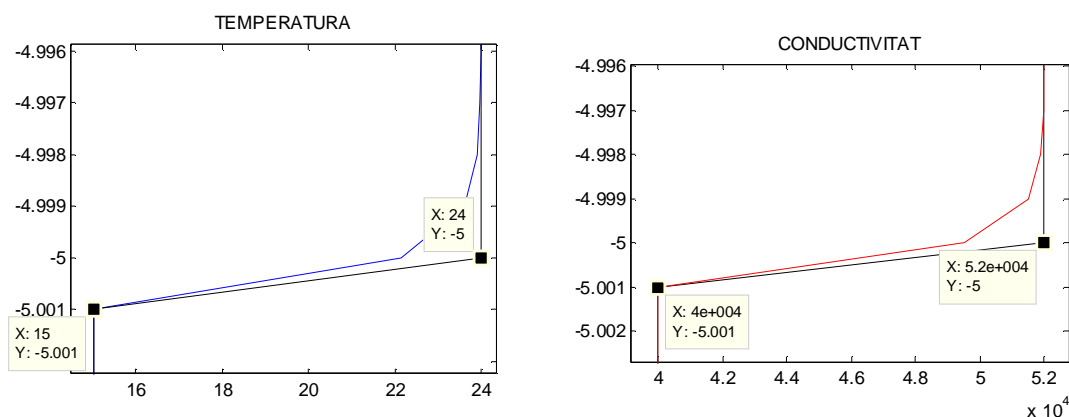


Figura 3.5 Representació ampliada dels paràmetres de temperatura i conductivitat a la sortida el filtre –color roig i blau –, en comparació amb els perfils teòrics –color negre -. S'indica també el valor de les mostres de l'esglaió

El següent pas consisteix en calcular la densitat i salinitat a partir dels paràmetres filtrats. La figura 3.6 mostra el resultat, també comparat amb els resultats teòrics, que ja s'havien obtingut en la prova de l'apartat 3.1.1.

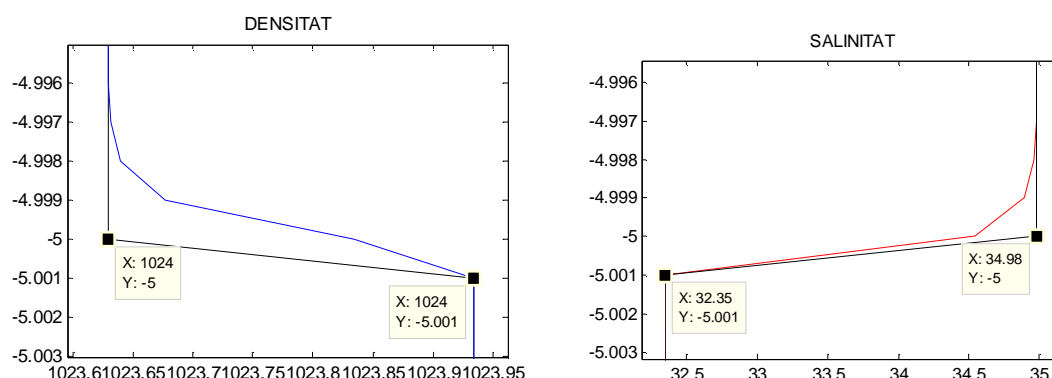


Figura 3.6 Densitat i salinitat, comparades amb els resultats teòrics -en negre-

En primer lloc, cal observar que, com era d'esperar, que no apareix cap mena de zona d'errors en forma de fluctuacions en els perfils, és a dir, no hi ha efecte de *salinity spiking*. Això s'explica perquè tant les dades de temperatura com les de conductivitat les processem pel mateix filtre, és a dir, que el filtre relatiu a cada sensor presenta el mateix temps de resposta. Aquest fet fa que hi hagi el mateix error en la mesura dels dos paràmetres. Per tant, no es produeixen errors en el càlcul dels perfils de densitat i salinitat.

D'altra banda, com es pot observar en la figura anterior, sembla que els resultats corresponen als que s'obtidrien de processar els resultats teòrics pel mateix filtre. La figura 3.7 mostra la comprovació.

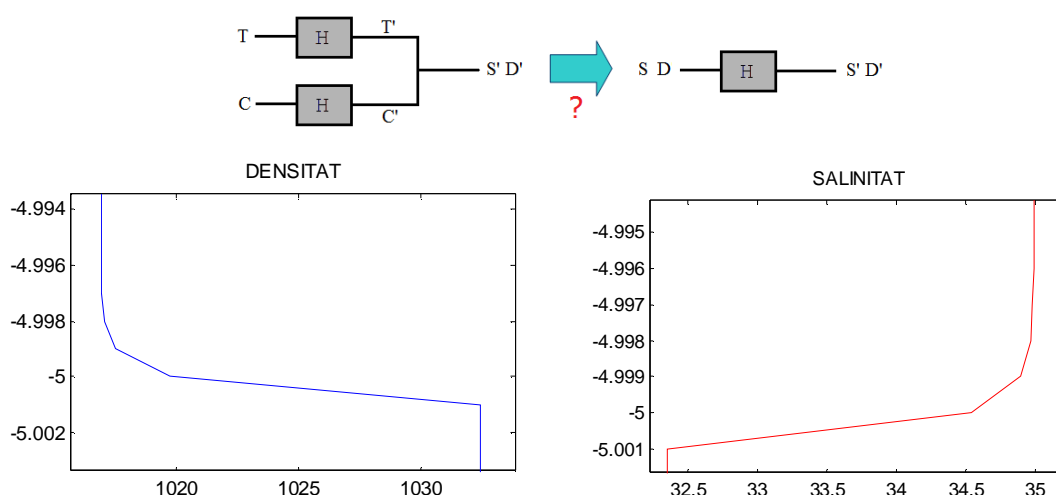


Figura 3.7 A dalt, esquema explicatiu de la prova que estem realitzant. A baix, perfils ampliat de densitat i salinitat –en blau i roig –, comparats amb la sortida del processament de les dades teòriques pel mateix filtre –en negre-

Tal com es pot comprovar en la figura anterior, els resultats coincidirien exactament amb els que s'obtidrien de processar les dades teòriques -sense errors- de densitat i salinitat pel mateix filtre de 25 Hz. Les dades resultants són idèntiques.

3.1.3 Processament de les dades amb diferents filtres

Aquest test reflecteix l'efecte del *salinity spiking* en processar les dades a mesurar per filtres de diferents característiques dinàmiques. Es realitzaran tests variant els paràmetres dels filtres per tal d'observar la incidència sobre els errors resultants.

3.1.3.1 Temps de resposta propers

Fent ús de les mateixes dades de la prova anterior, partirem primerament de dos filtres amb freqüències de tall properes. Les mesures de temperatura es processen per un filtre de 25 Hz, mentre que les de conductivitat, per un filtre de 30 Hz.

La figura 3.8 mostra les dades dels paràmetres filtrats comparades amb les dades teòriques.

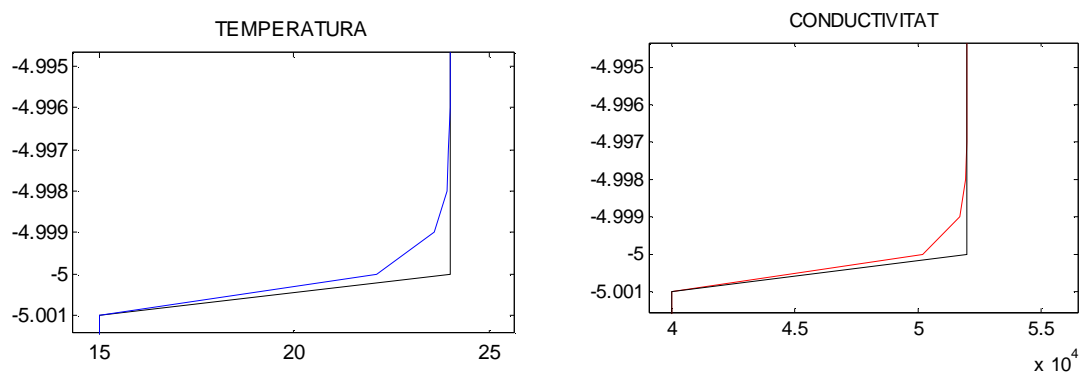


Figura 3.8 Perfils ampliats de la temperatura i conductivitat processada comparats amb els seus perfils teòrics. Freqüències de tall utilitzades de 25 Hz i 30 Hz

Atenent a la figura anterior, si calculéssim el temps que triga cada sensor en assolir el valor final de l'esglaó, es comprovaria que el sensor de conductivitat és més ràpid que el de temperatura. En la figura no es pot apreciar molt clarament, ja que les freqüències de tall dels filtres no són gaire distants.

Tot seguit, es procedeix a calcular la densitat i salinitat, que es recullen en la figura 3.9.

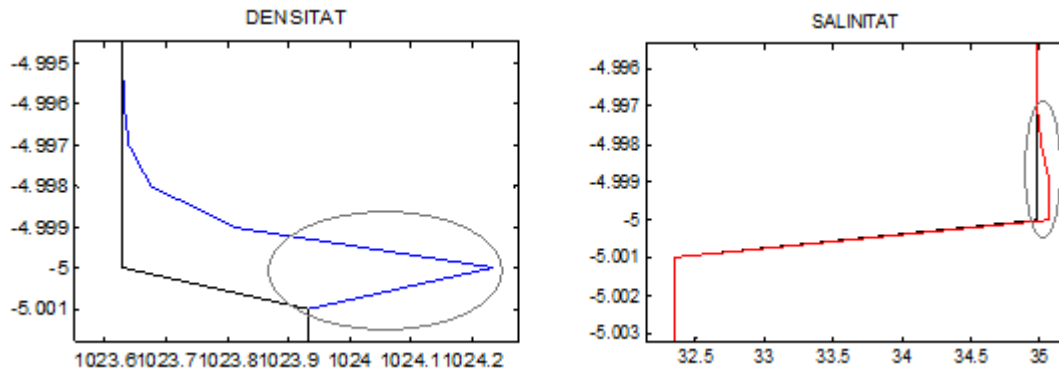


Figura 3.9 Representació ampliada dels perfils de densitat i salinitat –blau i vermell- en front els seus corresponents perfils teòrics, en negre. Marcades amb un cercle, les regions de fluctuacions

Tal com podem observar en la figura anterior, es formen regions d'error en cada perfil, que estan marcades amb un cercle. Si l'esglaó teòric es fa efectiu entre les mostres 5,000 i 5,001 dels perfils teòrics, a partir d'aquestes mostres apareixen aquests errors, que conformen els *spikes*.

Podem quantificar l'error màxim que pot cometre una mostra en aquesta zona d'error o *spike*. L'expressió 3.1 indica com calcular aquest error, on X'_{max} correspon al valor de la magnitud on la desviació respecte el valor teòric és màxima, i X_{max} es refereix al corresponent valor teòric. En definitiva, aquest error calculat defineix la relació entre la màxima desviació existent i el seu corresponent valor teòric.

$$\epsilon_{max} = \frac{X'_{max} - X_{max}}{X_{max}} \quad (3.1)$$

A través del *Matlab*® s'han computat aquests errors pels dos perfils. En el cas de la salinitat, aquest error és del 0.27 %, i en la densitat, de 0.05 %.

3.1.3.2 Temps de resposta distants

En la present prova s'utilitza uns filtres on les freqüències de tall són molt més distants que en l'últim cas. Com a exemple, escollim una freqüència de tall de 45 Hz pel sensor de conductivitat i de 5 Hz pel sensor de temperatura. La figura 3.10 mostra gràficament els senyals de temperatura i conductivitat processats.

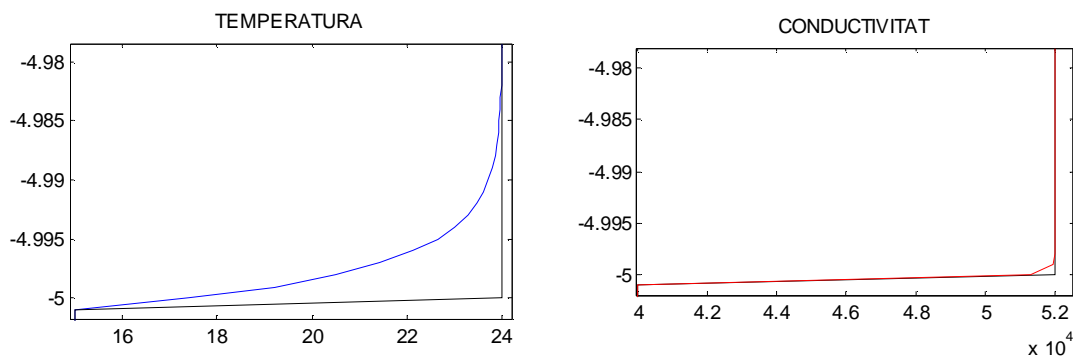


Figura 3.10 Mostra gràfica ampliada dels perfils de temperatura i conductivitat –blau i vermell -. En negre, els perfils teòrics. Freqüències de tall utilitzades de 45 Hz i 5 Hz

Tal com s'observa en la figura, en aquesta ocasió sí que es pot apreciar clarament que el sensor de conductivitat és molt més ràpid que el de temperatura. La diferència notable entre les freqüències de tall dels filtres explica aquest fet.

Finalment, estudiarem l'efecte del *salinity spiking* en aquest cas concret. La figura 3.11 reflecteix el càlcul final de la densitat i la salinitat.

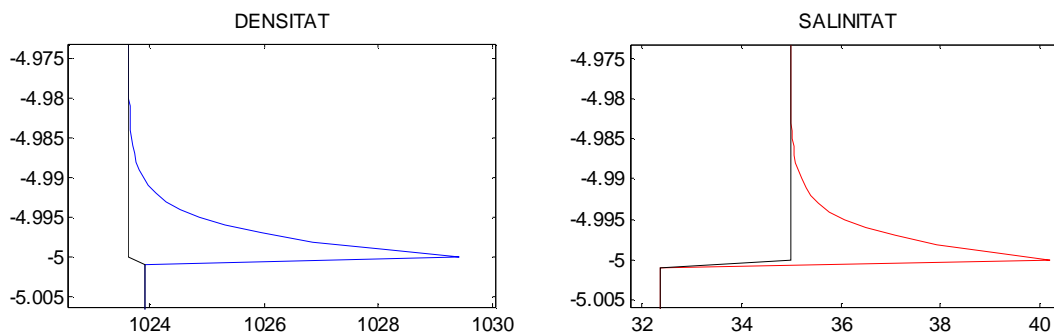


Figura 3.11 Perfils ampliats de densitat i salinitat –blau i roig -, comparat amb els teòrics –en negre -. Freqüències de tall utilitzades de 45 Hz i 5 Hz

Tal com era d'esperar, hi ha una presència d'*spikes* en la zona propera d'esglaó. Com a segon punt, s'analitzarà quines característiques presenten aquests *spikes*, en comparació amb la prova anterior, on les freqüències de tall eren més ajustades.

Per tal d'efectuar aquesta comparació, ens centrem en el mateix paràmetre analitzat en la prova anterior: l'error màxim que presenta el pic. Atenent l'expressió 3.1, aquest error és de 0.56 % per la densitat, i del 14.98 % en el cas de la salinitat. Com reflecteix la taula 3.1, l'error en aquest cas ha augmentat significativament respecte la prova anterior. És un fet lògic, ja que

l'origen de la presència d'*spikes* resideix en la diferència de temps de resposta dels sensors; per tant, si aquesta diferència és molt àmplia –ja que la diferència entre les freqüències de tall també ho és–, l'efecte es veu agreujat encara més.

Taula 3.1. Màxims errors en el càlcul de densitat i salinitat per les dues últimes proves. F_c és la freqüència de tall dels filtres

	Prova A	Prova B
F_c Temperatura	25 Hz	5 Hz
F_c Conductivitat	30 Hz	45 Hz
ϵ_{\max} Densitat	0.05 %	0.56 %
ϵ_{\max} Salinitat	0.27 %	14.98 %

3.2 Tests sobre el rang de dades d'entrada i aplicacions de detecció d'*spikes*

3.2.1 Variació del rang de dades

L'objectiu d'aquesta prova és estudiar la incidència que té el rang de dades d'entrada de temperatura i conductivitat en l'efecte del *salinity spiking* en els perfils de densitat i salinitat. Per fer-ho possible, es realitzen quatre proves en què el rang de dades de temperatura varia de forma creixent.

3.2.1.1 Variació molt alta de temperatura

En primer lloc, treballarem amb unes dades on la variació del paràmetre de temperatura és molt més alta que la de la conductivitat. En aquest cas, utilitzarem uns perfils diferents als de proves anteriors, per variar, però que també poden ser reals.

En concret, les dades són les següents:

- Temperatura: Senyal esglaó de 29 a 11 °C.
- Conductivitat: Senyal esglaó de 52,000 a 40,000 S/m.

Pel que fa als filtres, s'escull una freqüència de tall de 8 Hz pel sensor de temperatura, i de 10 Hz pel sensor de conductivitat. La figura 3.12 mostra els perfils de totes les dades.

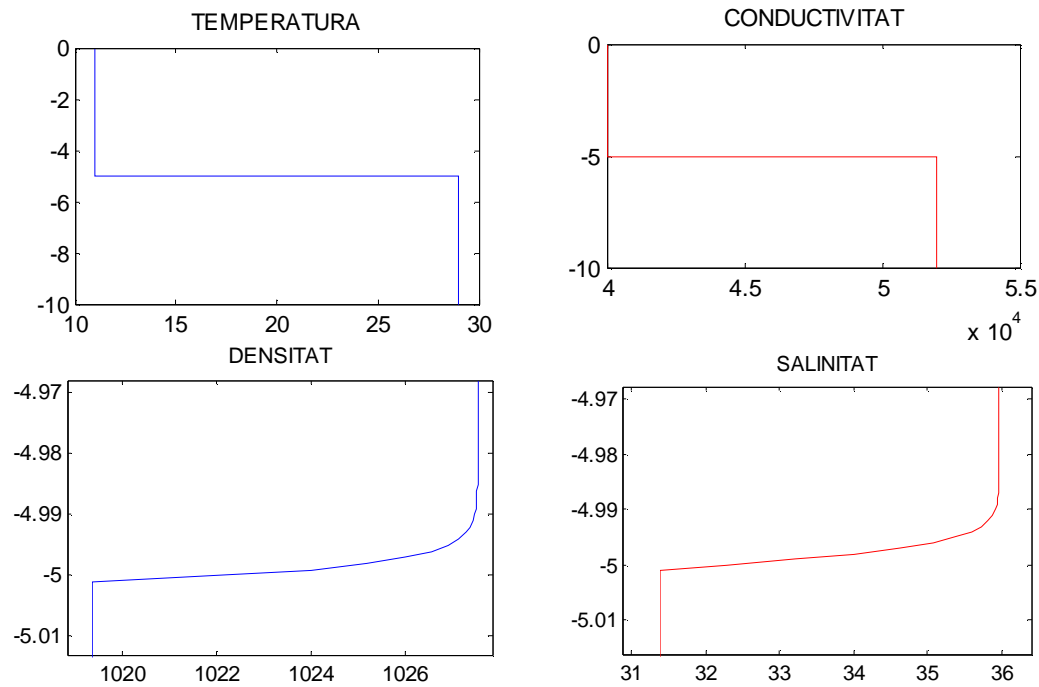


Figura 3.12 A dalt, perfils d'entrada de temperatura i conductivitat, per un rang d'entrada de 29-11°C. A baix, perfils ampliats de densitat i salinitat

Atenent els perfils de densitat i salinitat, no hi ha presència d'*spikes* en el càlcul d'aquests paràmetres. Tot i que els temps de resposta dels sensors són diferents, la variació que experimenta la temperatura és molt més gran que la que experimenta la conductivitat. Això fa que el càlcul dels paràmetres de densitat i salinitat depengui gairebé totalment de la temperatura. El *salinity spiking* és un efecte que depèn del comportament de dos paràmetres; com que en aquest cas el sistema pràcticament només depèn d'un paràmetre –la temperatura –, no apareixen errors a la sortida.

Per altra banda, també cal comentar quina és la distribució de les dades calculades en funció del rang de les dades d'entrada. En general, la densitat depèn en major grau de la temperatura –inversament– que de la salinitat. Si a més, la variació de temperatura és molt gran, aquesta dependència encara és més forta. Aquesta relació es pot veure reflectida en la figura, on s'observa que la densitat depèn –de forma inversa– de la temperatura.

En la següent prova s'escurçarà el rang d'entrada de les dades de temperatura, deixant intactes les dades de conductivitat. A partir d'aquí, observarem quin efecte es produeix a l'hora de calcular els paràmetres de sortida.

El perfil de temperatura passa a ser un senyal esglaó que va de 13 °C a 26 °C. La figura 3.13 recull els resultats.

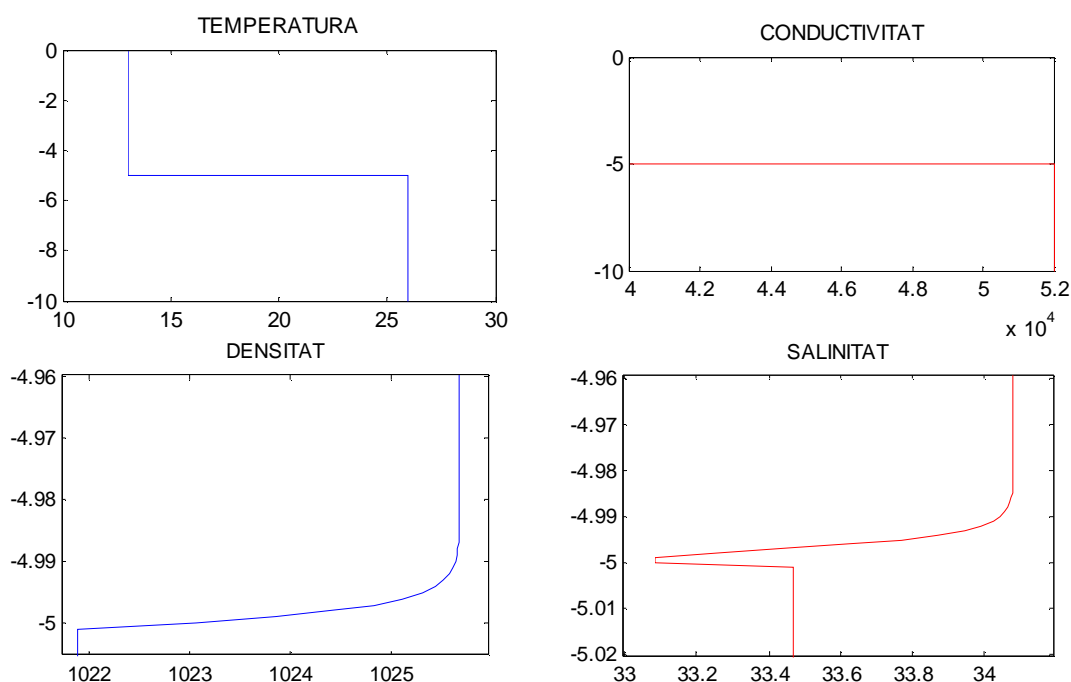


Figura 3.13 A dalt, perfils d'entrada de temperatura i conductivitat per una variació de 26-13°C de temperatura. A baix, perfils de sortida ampliat

El canvi més significatiu s'esdevé en el perfil de salinitat, on hi ha presència d'una regió d'errors. Aquesta presència es deu a què la variació que experimenta la temperatura en relació a la de conductivitat no és tan gran com en l'últim cas. Això fa que la conductivitat guanyi pes en el càlcul de la densitat i la salinitat, i l'efecte del *salinity spiking* comenci a fer-se palès. Tanmateix, el perfil de densitat encara no conté cap spike, degut a què la seva dependència amb la temperatura encara és molt més forta que la dependència amb la salinitat.

3.2.1.2 Variació mitjana de temperatura

En el present test s'escurça la variació que presenta la temperatura fins a situar-la a nivells comparables a la variació de la conductivitat. En concret, s'estableix aquesta variació entre 15 °C i 24 °C. La figura 3.14 reflecteix els resultats obtinguts.

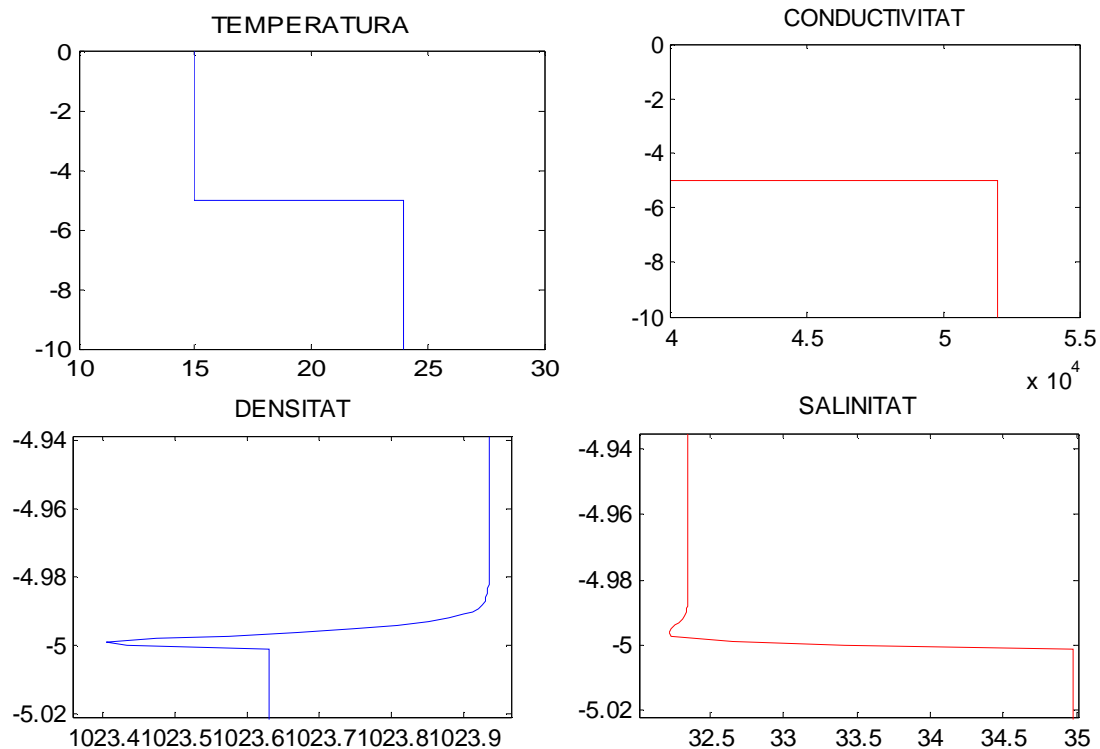


Figura 3.14 A dalt, perfils d'entrada de temperatura i conductivitat per un rang d'entrada de 24-15 °C. A baix, perfils calculats de densitat i salinitat

Com podem apreciar al gràfic anterior, aquest test ja registra presència d'*spikes* en el perfil de densitat.

Es pot afirmar que si els rangs d'entrada de temperatura i conductivitat són comparables, la densitat depèn en part de la salinitat –això ho demostra l'aparició d'*spikes* –, però encara amb una dependència més gran amb la temperatura –la distribució és inversa a la temperatura –.

3.2.1.3 Variació molt baixa de temperatura

En aquest test es realitzarà una prova en la que la variació que experimenta la temperatura és negligible en front la variació de conductivitat. En primer lloc, s'ha fixat la variació de temperatura en només 2 °C, de 21 °C a 19 °C, sense canviar les dades referents a la conductivitat. La figura 3.15 mostra els resultats obtinguts a partir d'aquestes dades d'entrada.

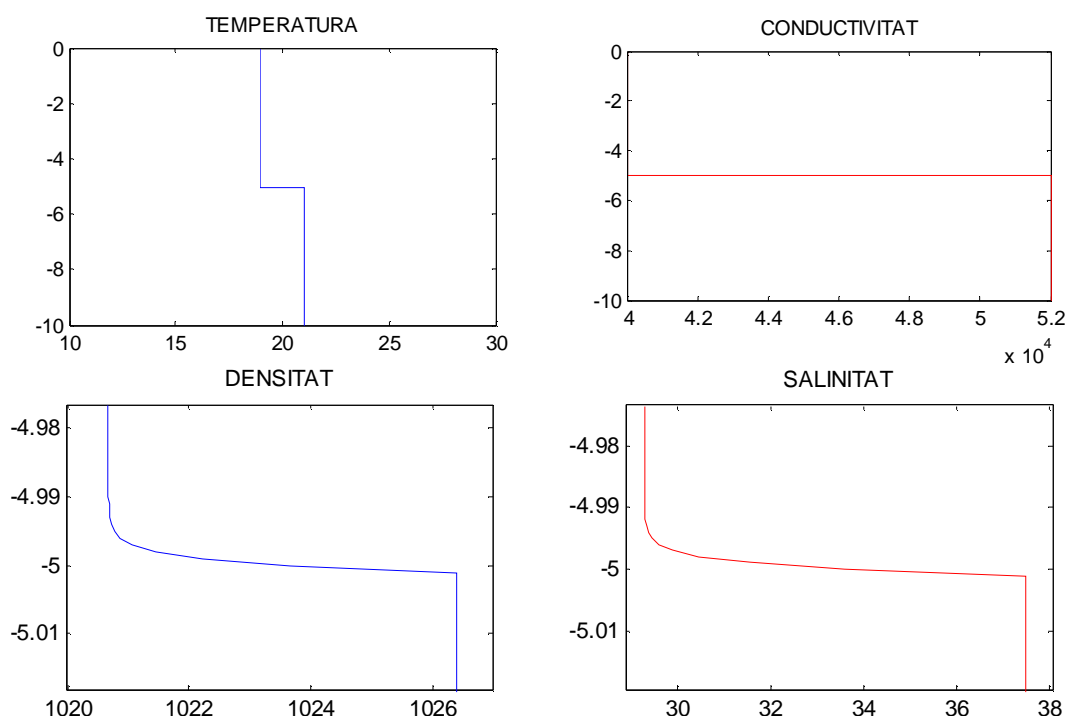


Figura 3.15 A dalt, perfils d'entrada de temperatura i conductivitat per un rang de temperatura de 21-19°C. A baix, representacions ampliades de la densitat i salinitat

En aquest cas no es detecta *spikes* en els dos perfils de sortida. De la mateixa manera que passa quan la variació de temperatura és molt gran, en aquest cas el sistema depèn pràcticament d'una sola variable, que en aquest cas seria la conductivitat. Això fa que desaparegui l'efecte del *salinity spiking*.

En referència a la distribució dels perfils calculats, la densitat en aquest cas depèn més de la salinitat que de la temperatura. Això ho explica el fet de què la seva distribució ja no coincideix amb la inversa de la temperatura, com en les proves anteriors.

La taula 3.2 resumeix l'evolució de l'efecte dels pics de salinitat en totes aquestes proves.

Taula 3.2. Efecte del *salinity spiking* en les proves de variació de rangs

Δ Temperatura	Δ Conductivitat	Presència d' <i>spikes</i>	
		Densitat	Salinitat
29 °C – 11 °C	52,000 S/m - 40,000 S/m	NO	NO
26 °C – 13 °C		NO	SÍ
24 °C – 15 °C		SÍ	SÍ
21 °C – 19 °C		NO	NO

3.2.2 Mètode de detecció d'*spikes*

Per tal de poder eliminar d'una manera efectiva la presència d'*spikes*, primer cal detectar-los. Per aquesta raó, en aquest apartat proposem la implementació d'un mètode que, donats uns perfils de dades d'entrada, detecti si hi ha presència d'*spikes* en el càlcul dels paràmetres de sortida.

En aquesta línia, s'ha construït una aplicació que crea dades d'entrada de diverses distribucions i rangs, i comprova la presència de zones d'error en els corresponents perfils de salinitat i densitat. A partir dels resultats obtinguts per cada distribució de dades d'entrada, es crea un gràfic on es relaciona les dades d'entrada amb l'aparició d'*spikes*. D'aquesta manera, es pot veure plasmada de forma molt visual la relació entre els rangs d'entrada de les dades i l'efecte del *salinity spiking*.

Per tal de detectar les zones d'error, s'ha definit un llindar. Aquest llindar representarà la mínima variació que pot experimentar una mostra per ser considerada com un error, o part d'un *spike*. Després de nombroses proves per determinar quin valor podria ser el més vàlid, s'ha establert el valor del llindar a 0.001, tant en la densitat (kg/m³) com en la salinitat (ppm).

A continuació s'exposaran les proves en funció de les dades d'entrada que s'hagin utilitzat.

3.2.2.1 Variacions simètriques de temperatura i conductivitat

En aquesta prova partim d'unes primeres dades de 19.7-19.3 °C (0.4 °C de variació) i de 47,000-45,000 S/m (2,000 S/m de variació). A partir d'aquí, iterarem tot variant els rangs de forma simètrica 0.2 °C i 1000 S/m en els extrems superior i inferior. La taula 3.3 defineix la composició de les dades per a cada iteració.

Taula 3.3. Conjunt de dades d'entrada utilitzades

# iteració	Temperatura (°C)		Conductivitat (S/m)	
	Rang d'entrada	Variació	Rang d'entrada	Variació
1	19.7-19.3	0.4	47,000-45,000	2000
2	19.9-19.1	0.8	48,000-44,000	4000
3	20.1-18.9	1.2	49,000-43,000	6000
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
1800	31.5-7.5	24	76,000-16,000	60,000

Així doncs, treballarem amb dades que varien des de 0.4 °C i 2000 S/m a 24 °C i 60,000 S/m. Si tenim en compte totes les possibles combinacions,

comptabilitzem fins a 1,800 iteracions, cadascuna de les quals representarà un conjunt de dades diferents.

Pel que fa als filtres, utilitzem els relatius als sensors de la sonda SCAMP. És a dir, la freqüència de tall per la temperatura seria de 12.5 Hz, i per la conductivitat, de 40 Hz.

La figura 3.16 mostra un gràfic resultant on es relaciona la variació de les dades de cada magnitud d'entrada i la presència d'*spikes*. Els casos en els quals no apareixen zones d'error s'assenyalen amb un cercle blau, mentre aquells en què hi ha presència d'*spikes* es marquen amb una creu vermella.

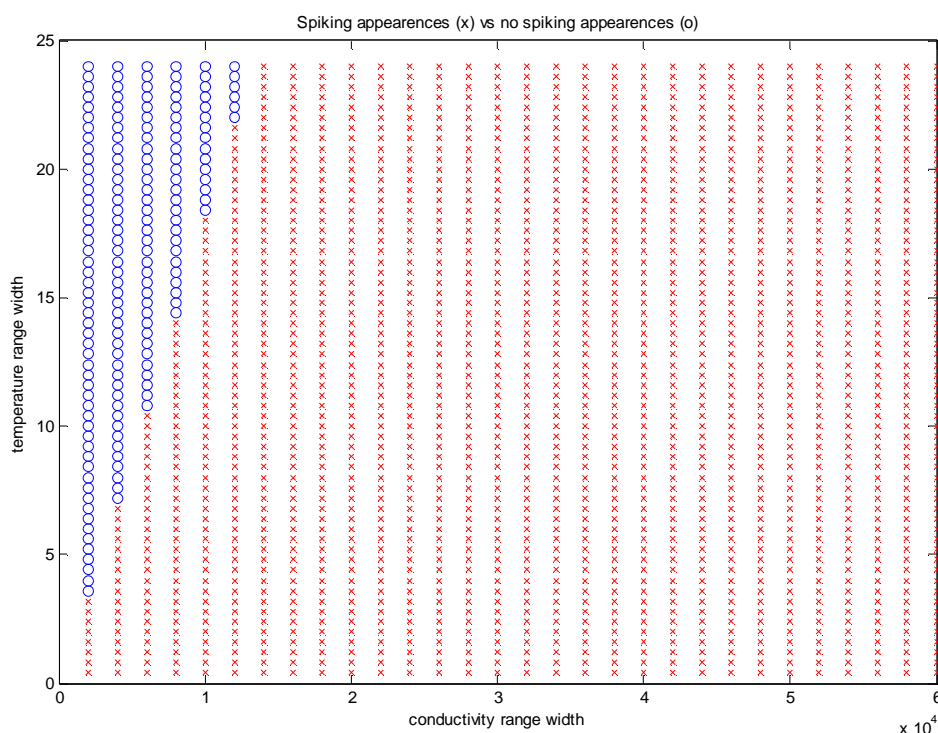


Figura 3.16 Diagrama que mostra l'aparició d'*spikes* en funció de l'amplitud dels rangs d'entrada pels paràmetres de l'SCAMP. Un cercle blau significa que la prova no ha resultat en spikes, i una creu vermella, que sí que n'ha resultat

En tot el conjunt de proves que aquesta aplicació ha computat, veiem que hi ha un alt nombre de casos on es desenvolupa *salinity spiking*, concretament un 90.2 %.

Si observem la figura, la presència de la franja blava és justificable. Com hem vist en l'apartat anterior, si tenim variacions de temperatura molt grans comparades amb les de conductivitat, no hi ha errors en els perfils de sortida. En principi, hauria de passar el mateix a la inversa, si les variacions de conductivitat són molt més grans. Tanmateix, no s'aprecia aquest efecte en aquesta prova.

En la següent prova, es varien els paràmetres dinàmics dels filtres. Es baixa la freqüència de tall de temperatura a 7.5 Hz. En principi, la diferència de temps de resposta entre els sensors augmentaria, i per tant s'agreuja l'efecte del *salinity spiking* pel conjunt de proves. La figura 3.17 mostra els resultats:

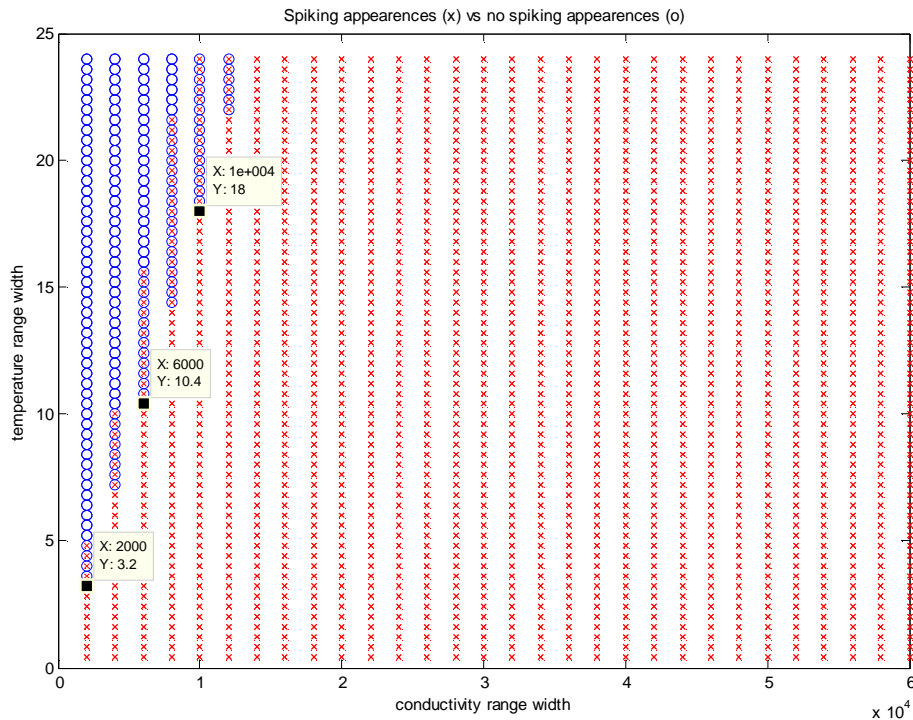


Figura 3.17 Diagrama que mostra l'aparició d'*spikes* en funció de l'amplitud. Se superposen els diagrames de les dues darreres proves. Els cursors marquen la frontera entre les dues zones pel cas de f_c de temperatura = 12.5 Hz

Tal com s'aprecia en la figura, la zona de les mostres amb *spikes* resultants sobrepassa la frontera de l'anterior prova. Per tant, s'incrementen notablement els casos on s'obtenen regions d'error. Tot seguit, es varien de nou les condicions dels filtres. Analitzem un escenari on les freqüències de tall són molt baixes, en concret de 1.98 Hz per la temperatura i 2.65 Hz per la conductivitat.

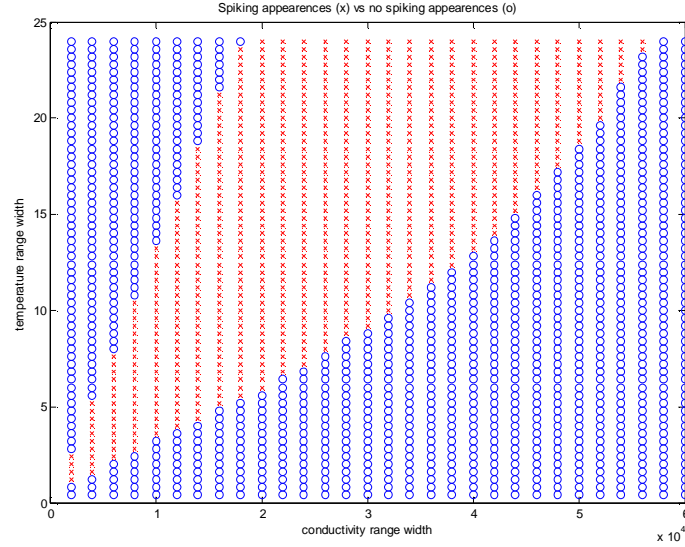


Figura 3.18 Diagrama de l'aparició d'*spikes* en funció dels rangs d'entrada

En aquest cas, com s'observa en la figura 3.18, apareixen tres zones clarament delimitades. Al contrari del que passava per l'*SCAMP*, les mostres que presenten variacions de conductivitat molt grans en relació a les de temperatura no resulten en *spikes*. En el global de les mostres, el nombre de perfils que contenen *spikes* minva notablement, respecte a les dades obtingudes amb l'*SCAMP*. Aquest fet es justifica seguidament.

En aquest test, partim de dos valors de freqüència de tall, i els substituïm per dos valors molt inferiors. Això fa que els valors dels temps de resposta hagin augmentat. L'expressió 3.2 calcula els temps de resposta per l'*SCAMP*, i la 3.3, els temps de resposta pels paràmetres de la present prova.

$$T_r(\text{cond}) = \frac{1}{f_c(\text{cond})} = \frac{1}{40 \text{ Hz}} = 25 \text{ ms} \quad T_r(\text{temp}) = \frac{1}{f_c(\text{temp})} = \frac{1}{12.5 \text{ Hz}} = 80 \text{ ms} \quad (3.2)$$

$$T_r(\text{cond}) = \frac{1}{f_c(\text{cond})} = \frac{1}{2.65 \text{ Hz}} = 377 \text{ ms} \quad T_r(\text{temp}) = \frac{1}{f_c(\text{temp})} = \frac{1}{1.98 \text{ Hz}} = 505 \text{ ms} \quad (3.3)$$

Com podem comprovar, hi ha un augment significatiu dels temps de resposta. Com més grans siguin els temps de resposta, més error es produirà en la mesura dels paràmetres, error que tendirà a ser màxim en el límit (100 % d'error). La figura 3.19 demostra aquest fet. Per tant, en el límit, els errors tendeixen a ser del 100 %, i la diferència d'errors tendeix a ser nul·la. Així doncs, podem afirmar que si incrementem els temps de resposta de les dades, la diferència d'errors entre mesures tendeix a decreixre, i, per tant, l'efecte del *salinity spiking* es debilita.

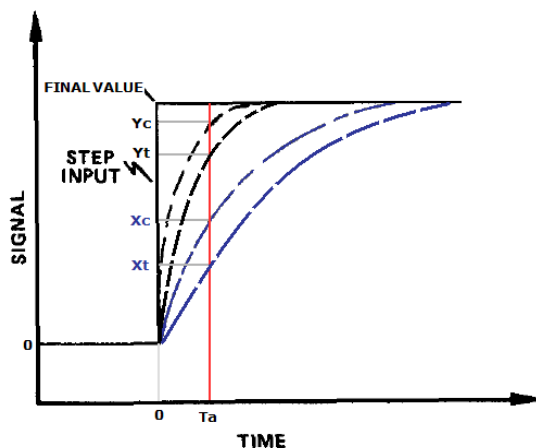


Figura 3.19 Resposta de dos sistemes, el primer amb temps de resposta baixos –de color negre –, i el segon amb temps de resposta alts –color blau -. En l’instant d’adquisició T_a , veiem com els errors en les mesures adquirides X_c i X_t són molt més grans que en les mesures Y_c i Y_t

3.2.2.2 Variacions no simètriques de temperatura i conductivitat

La següent prova contempla un conjunt de dades diferent a l'utilitzat fins ara. Partim d'unes dades fixes de temperatura i de conductivitat de 7.5 °C i 16,000 S/m. A partir d'aquí, deixant aquestes dades fixes, realitzem un escombrat no simètric augmentant 0.4 °C i 2000 S/m en cada iteració per determinar l'extrem superior. La taula 3.4 defineix la composició de les dades per a cada iteració.

Taula 3.4. Conjunt de dades d'entrada utilitzades

# Iteració	Temperatura (°C)		Conductivitat (S/m)	
	Rang d'entrada	Variació	Rang d'entrada	Variació
1	7.9-7.5	0.4	18,000-16,000	2000
2	8.3-7.5	0.8	20,000-16,000	4000
3	8.7-7.5	1.2	22,000-16,000	6000
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
1800	31.5-7.5	24	76,000-16,000	60,000

Els filtres utilitzats són els de l'*SCAMP*. La figura 3.20 mostra el resultat.

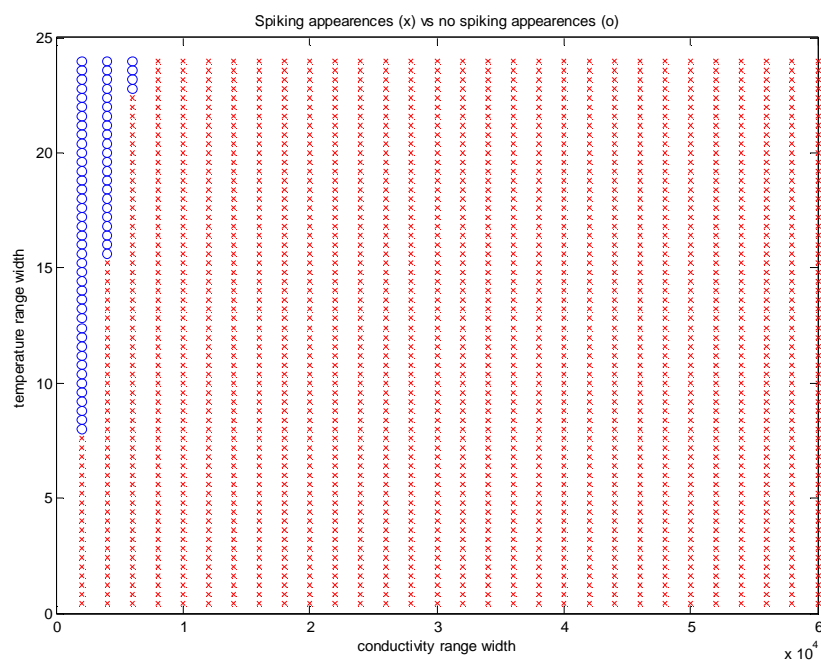


Figura 3.20 Diagrama que mostra l'aparició d'*spikes* en funció de l'amplitud dels rangs d'entrada obtinguts a través de variacions no simètriques

Tenint en compte les dades resultants, podem afirmar que el nombre de proves que han resultat en *spikes* ha augmentat considerablement, respecte al test on les variacions eren simètriques.

En el següent test, les dades d'entrada s'obtenen també a través de variacions no simètriques, però deixant com a dades fixes 31.5 °C i 76,000 S/m, tal com indica la taula 3.5. La figura 3.21 mostra els resultats.

Taula 3.5. Conjunt de dades d'entrada utilitzades

# iteració	Temperatura (°C)		Conductivitat (S/m)	
	Rang d'entrada	Variació	Rang d'entrada	Variació
1	31.5-31.1	0.4	76,000-74,000	2000
2	31.5-30.7	0.8	76,000-72,000	4000
3	31.5-30.3	1.2	76,000-70,000	6000
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
1800	31.5-7.5	24	76,000-16,000	60,000

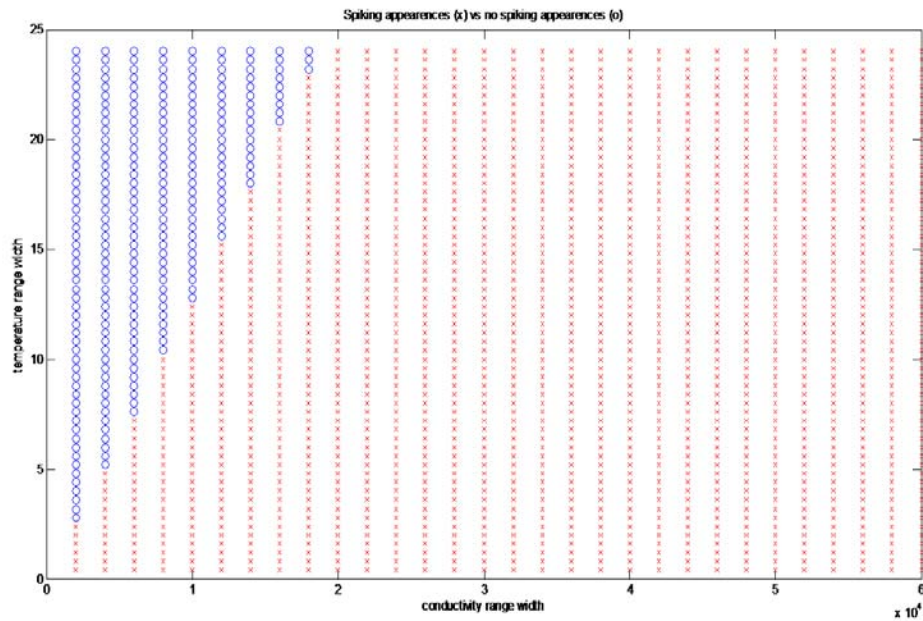


Figura 3.21 Diagrama que mostra l'aparició d'*spikes* en funció de l'amplitud dels rangs d'entrada obtinguts a través de variacions no simètriques

Es pot apreciar en el gràfic que ha disminuït el nombre de mostres amb *spikes* respecte la prova anterior. En relació al cas de variacions d'entrada simètriques, també conté menys efecte de *salinity spiking* en global.

Així doncs, hem realitzat tres proves, una amb distribucions de dades simètriques, i les altres dues amb distribucions no simètriques. En totes tres proves utilitzem els mateixos filtres (SCAMP) i la mateixa variació de dades d'entrada (de 0.4 a 24 °C i de 2000 a 60,000 S/m), però proporcionen resultats diferents a l'hora d'avaluar l'efecte del *salinity spiking*. L'únic punt que diferencia totes tres proves és la composició de les dades que utilitzen. Per tant, com a conclusió final, podem afirmar que l'aparició del *salinity spiking* depèn no només de l'amplitud dels rangs d'entrada i de les característiques dinàmiques dels filtres, sinó també de les dades d'entrada en sí.

3.3 Mètodes de minimització del *salinity spiking*

En aquest capítol es crearan tècniques pròpies de reducció de l'efecte del *salinity spiking*. Les tècniques es basaran en l'aplicació de nocions de processament del senyal, de teoria espectral o de processos estadístics.

S'elaboraran proves a fi de comprovar la viabilitat i eficàcia de cada mètode. El conjunt de tests es pot dividir en dos blocs diferenciats, segons el mètode a què fan referència: mètode de *sharpening* o mètode d'interpolació. El primer fa ús de tècniques espectrals, i el segon, de processos estadístics. Finalment, s'estudiarà el resultat d'aplicar els mètodes estudiats a dades experimentals.

3.3.1 Mètode de *sharpening*

El primer mètode proposat intenta aplicar la tècnica anomenada *sharpening* o d'emfatització –veure apartat 2.3.2.1- per corregir els pics de salinitat. Aquesta tècnica utilitza conceptes espectrals per tal de traslladar la freqüència de tall del sensor de temperatura al valor de la del sensor de conductivitat. Això propicia una igualtat de temps de resposta que fa que es cancel·lin els *spikes*.

L'aplicació *sharpening* executa dues operacions espectrals. La primera, la multiplicació de la sortida del sensor de temperatura per la transformada inversa del filtre –*smoothing* –; i la segona, el processament posterior de les dades a través d'un filtre de freqüència de tall igual a la del filtre de conductivitat. Aquestes operacions fan que es requereixi de les característiques dels sensors per aplicar aquest mètode. En el nostre cas, com que treballem amb l'*SCAMP*, no tindrem problema ja que disposem de totes les dades.

Les dades utilitzades en tots els tests, mentre no s'indiqui el contrari, seran les següents:

- Temperatura: Senyal esglaó de 24 a 15 °C.
- Conductivitat: Senyal esglaó de 52,000 a 40,000 S/m.

La figura 3.22 mostra aquestes dades d'entrada.

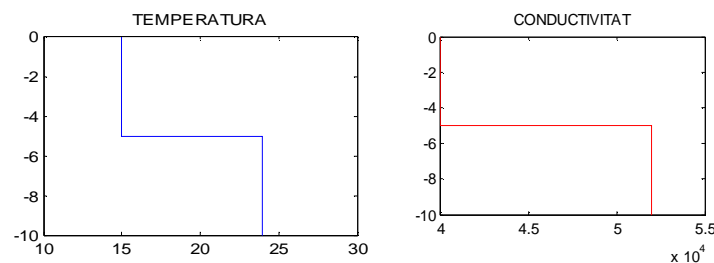


Figura 3.22 Perfils d'entrada dels paràmetres temperatura i conductivitat

3.3.1.1 Retallada del temps de resposta

La primera prova es centra en aplicar *sharpening* sobre el perfil de sortida de temperatura i comprovar que s'escurci el temps de resposta global. Per aconseguir-ho, partim del sensor de temperatura de l'*SCAMP*, de freqüència de tall 12.5 Hz, i la trasludem a 40 Hz (*sharpening* a 40 Hz). La figura 3.23 compara els perfils de temperatura amb o sense l'aplicació de *sharpening*.

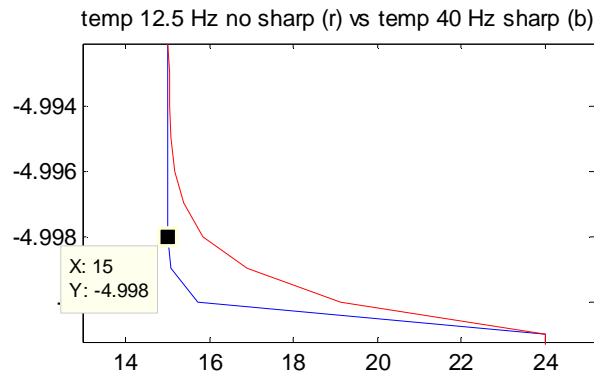


Figura 3.23 Perfils de sortida de temperatura amb *sharpening* aplicat (blau) a 40 Hz i sense *sharpening* aplicat (roig)

Com s'aprecia a la figura, la corba del perfil on s'aplica l'emfatització assoleix més ràpidament els 15 °C de valor final. Per tant, s'ha reduït notablement aquest temps de resposta respecte el perfil inicial.

3.3.1.2 Comparació amb sistemes on no s'aplica sharpening

L'objectiu d'aquesta prova és comprovar que, si s'aplica *sharpening* a les dades de temperatura per pujar la freqüència de tall a 40 Hz, les dades resultants equivalen a la resposta d'un filtre amb freqüència de tall 40 Hz. La figura 3.24 il·lustra aquesta prova mitjançant un esquema.

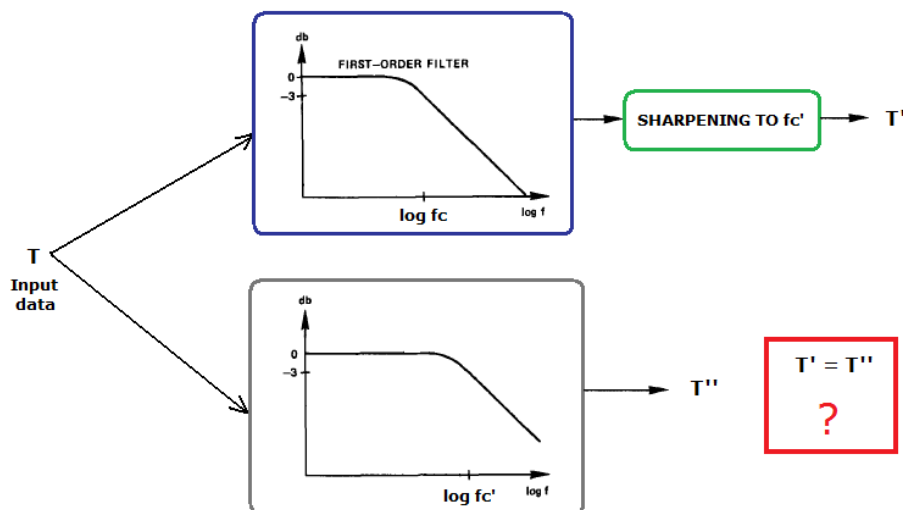


Figura 3.24 Esquema explicatiu de la prova que reflecteix la comparació dels dos sistemes. En el nostre cas, $fc=12.5$ Hz i $fc'=40$ Hz

La figura 3.25 mostra els resultats de la comparació dels dos sistemes.

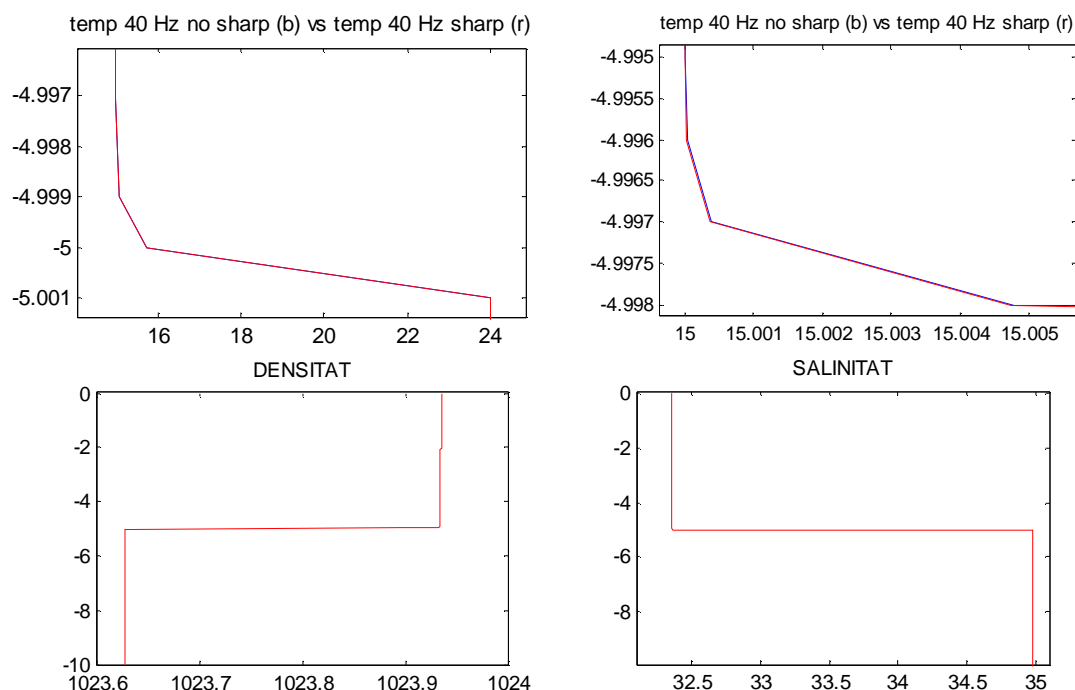


Figura 3.25 Perfils resultants dels dos sistemes; en vermell, sistema on s'aplica emfatització, en blau, sistema on no se n'aplica. A dalt a l'esquerra, perfil de temperatura, i a la dreta, perfil més ampliàt. A baix, càlculs de densitat i salinitat

Els resultats exposats en la figura anterior indueixen a afirmar que els dos sistemes són equivalents. Els dos perfils es sobreposen en les representacions, i només podem trobar mínimes diferències si amplièm molt les gràfiques.

3.3.1.3 Minimització del salinity spiking

L'objectiu principal de la utilització del mètode *sharpening* és la minimització dels pics de salinitat en els perfils de sortida. Els següents tests ho corroboraran.

En primer lloc, efectuarem un procés de *sharpening* a una freqüència intermèdia, entre la freqüència de tall de temperatura i conductivitat. Aquest test s'efectua per comprovar que els *spikes* es redueixen en aquest procés, tot i que encara no per complet. La freqüència de *sharpening* escollida és de 25 Hz. Anem a comprovar els resultats a través de la figura 3.26.

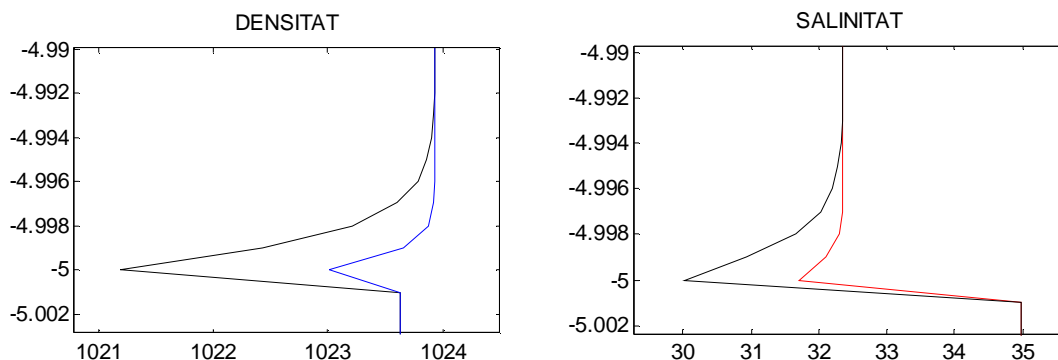


Figura 3.26 Densitat i salinitat per un sistema on no s'aplica *sharpening* –negre–, comparat amb el d'un sistema on s'aplica *sharpening* a 25 Hz –blau i vermell–

En ambdós perfils la zona d'errors queda atenuada considerablement un cop s'ha aplicat *sharpening* a 25 Hz al sistema. Això succeeix perquè el *sharpening* trasllada la freqüència de tall de 12.5 a 25 Hz, escurçant així el temps de resposta del mòdul de temperatura. Això fa que els temps de resposta dels mòduls de temperatura i conductivitat siguin més propers. Per tant, l'efecte de *salinity spiking* queda atenuat.

Tot seguit, s'incrementarà la freqüència de *sharpening* fins la freqüència de tall de conductivitat. La figura 3.27 comprova com aquest procés fa que els spikes quedin eliminats per complet.

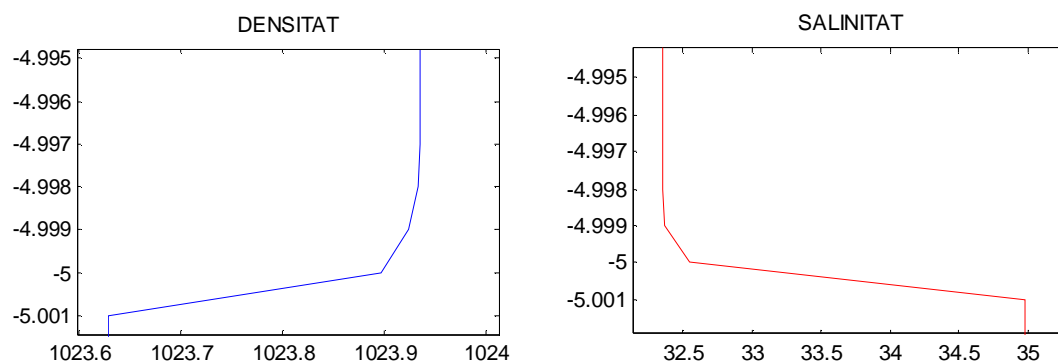


Figura 3.27 Densitat i salinitat per un sistema on s'aplica *sharpening* a 40 Hz

3.3.1.4 Tests en altres sistemes

Aquest test pretén confirmar la validesa d'aquest mètode en l'ús d'altres sistemes que no siguin el de la sonda SCAMP. Per exemple, considerem una sonda amb freqüència de tall de temperatura 7.5 Hz, i de conductivitat, 42 Hz. Aplicarem *sharpening* a 42 Hz al mòdul de temperatura, i comprovarem que no apareixen pics de salinitat.

Els resultats es recullen a la figura 3.28. En primer lloc, es verifica el test 3.3.1.2 per aquest sistema, i es comprova que els perfils on s'ha aplicat *sharpening* coincideixen amb els que no se n'ha aplicat. Es pot observar a la gràfica de la part superior, que conforma la temperatura, on se sobreposen ambdòs senyals. El color blau representa un sistema sense *sharpening* amb freqüència de tall de 42 Hz, i el roig, un sistema on s'aplica *sharpening* a 42 Hz.

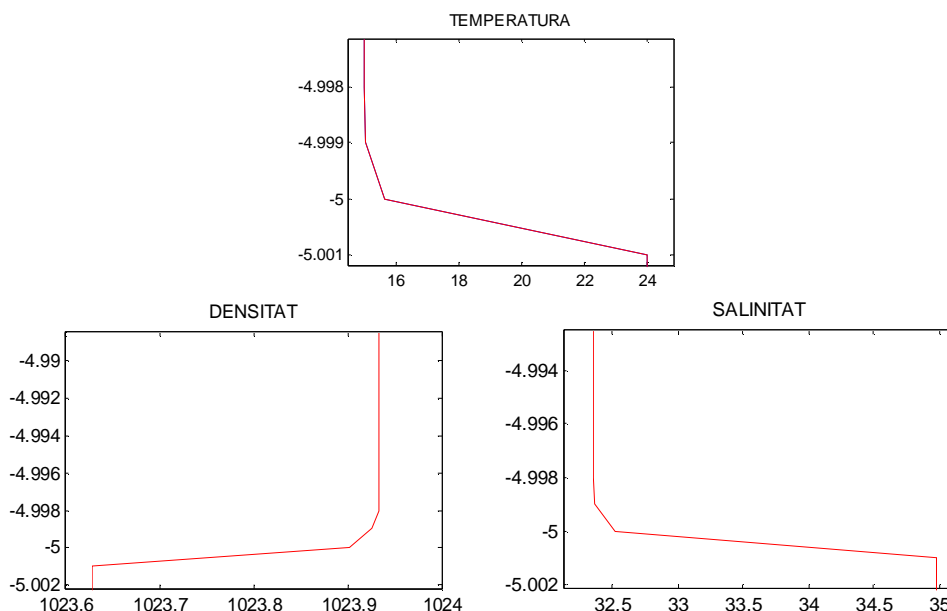


Figura 3.28 A dalt, comparació entre sistemes amb *sharpening* a 42 Hz (vermell) i sense (blau). A baix, càlcul dels paràmetres densitat i salinitat

3.3.1.5 Detecció d'*spikes* en funció del rang d'entrada

Basant-nos en les proves de l'apartat 3.2.2.1, realitzarem un test que mostra la relació entre el rang de dades d'entrada i l'aparició de pics de salinitat en sistemes on s'aplica *sharpening*. Aquesta prova es compararà amb la feta a l'apartat 3.2.2.1, on no s'utilitzen mecanismes d'emfatització. D'aquesta manera, es visualitzarà l'efecte del sharpening en la minimització del *salinity spiking*.

El conjunt de dades que s'utilitza són les distribucions simètriques de la taula 3.3, amb els sensors de l'*SCAMP*. La figura 3.29 mostra la representació final.

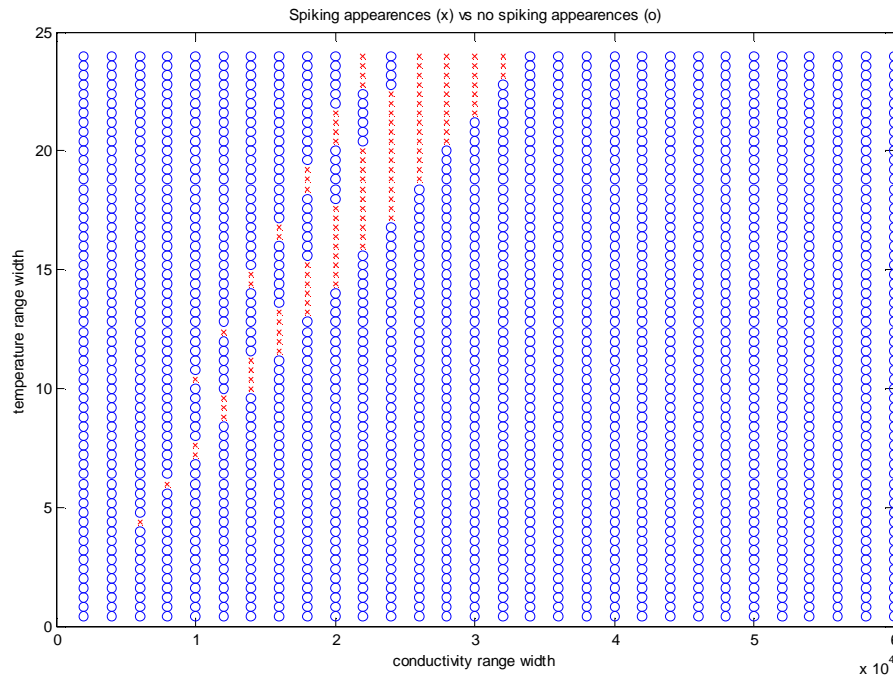


Figura 3.29 Relació entre l'aparició d'*spikes* i l'amplitud de les variacions d'entrada en un sistema on s'aplica *sharpening* a 40 Hz. Amb creu vermella, les mostres on hi ha presència d'*spikes*; en cercle blau, les mostres on no n'hi ha

Si comparem aquesta figura amb el cas en què no s'aplica *sharpening* –figura 3.16–, observem que s'ha minimitzat molt l'efecte del *salinity spiking*. El nombre de proves que resulten en zones d'error decreix un 94.8 %, fins a situar-se a un 4.6 %. Així doncs, queda clarament demostrada la capacitat d'aquest mètode per corregir pics de salinitat per moltes combinacions de dades d'entrada.

Per altra banda, si considerem un sistema en què no s'aplica *sharpening*, i el sensor de temperatura té freqüència de tall de 40 Hz en lloc de 12.5 Hz, el gràfic que s'obté és exactament el mateix que el de la figura 3.28. Resulta lògic, tenint en compte que en els apartats anteriors ja s'ha demostrat que aquests dos sistemes són equivalents –veure apartat 3.3.1.2–.

3.3.2 Mètode d'interpolació

El mètode d'interpolació es basa en dues operacions: la detecció d'*spikes* a través de processos estadístics, i la posterior eliminació mitjançant una interpolació de mostres.

Una regió d'error o *spike* es caracteritza per experimentar ràpides variacions en el perfil corresponent. És a dir, serien mostres en què el valor de derivada seria alt en comparació a les altres.

Per tant, un mètode per detectar aquestes variacions ràpides consistiria primerament en obtenir les variacions que presenta cada mostra del perfil en relació a la següent. Seguidament, obtindríem un histograma estadístic de distribucions on es representa la quantitat de mostres en funció de la seva variació. Llavors, escollirem un llindar de variació, a partir del qual considerem que una mostra forma part d'un *spike*. Finalment, detectarem les mostres que estan per sobre aquest llindar, i cada tram que conformi una regió d'error o *spike* el processarem per una interpolació lineal. D'aquesta manera, s'eliminen aquestes desviacions i els perfils editats resulten ser més propers als teòrics.

A continuació, s'exposa una prova on s'aplica aquesta metodologia a les mesures del nostre equip, l'*SCAMP*. Considerarem les mateixes dades utilitzades en la majoria de proves:

- Temperatura: Senyal esglaó de 24 a 15 °C.
- Conductivitat: Senyal esglaó de 52,000 a 40,000 S/m.

Després de computar les variacions que experimenta cada prova, obtenim l'histograma, representat en la figura 3.30.

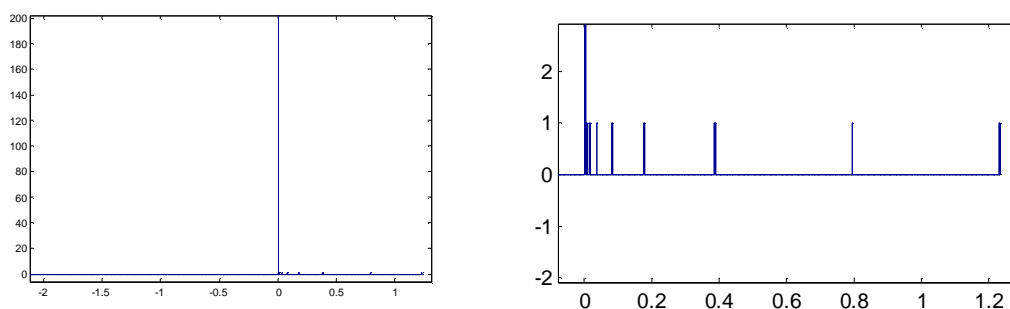


Figura 3.30 A l'esquerra, histograma complet de les variacions de cada mostra, fet amb 1000 barres. A la dreta, ampliació per variacions de 0 a 1.2

L'histograma s'ha implementat amb 1000 barres per intentar discernir millor els diferents graus de variacions. Es distingeix una barra que representa un gran nombre de variacions petites, molt properes a zero. D'altra banda, en la figura ampliada de la dreta, es pot apreciar diverses barres amb variacions superiors, que podrien fer referència a mostres que formin part d'un *spike*.

A continuació es cerca un llindar de variació, per tal de distingir quines mostres de l'histograma formarien part de regions d'error i quines no. Després de diverses proves experimentals, s'estableix com a llindar la variació de 0.0001 ppm de salinitat o kg/m^3 de densitat. És a dir, totes les mostres que presentin variacions més grans que aquesta, seran considerades part d'un *spike*.

Un cop escollit el valor del llindar, es detecten quines mostres estan per sobre d'aquest llindar de variació, per sotmetre-les a un posterior processament. A aquestes mostres se'ls aplicarà una interpolació lineal, de manera que deixaran de presentar altes variacions. Anem a veure el resultat d'aquest procés, que la figura 3.31 ens reflecteix.

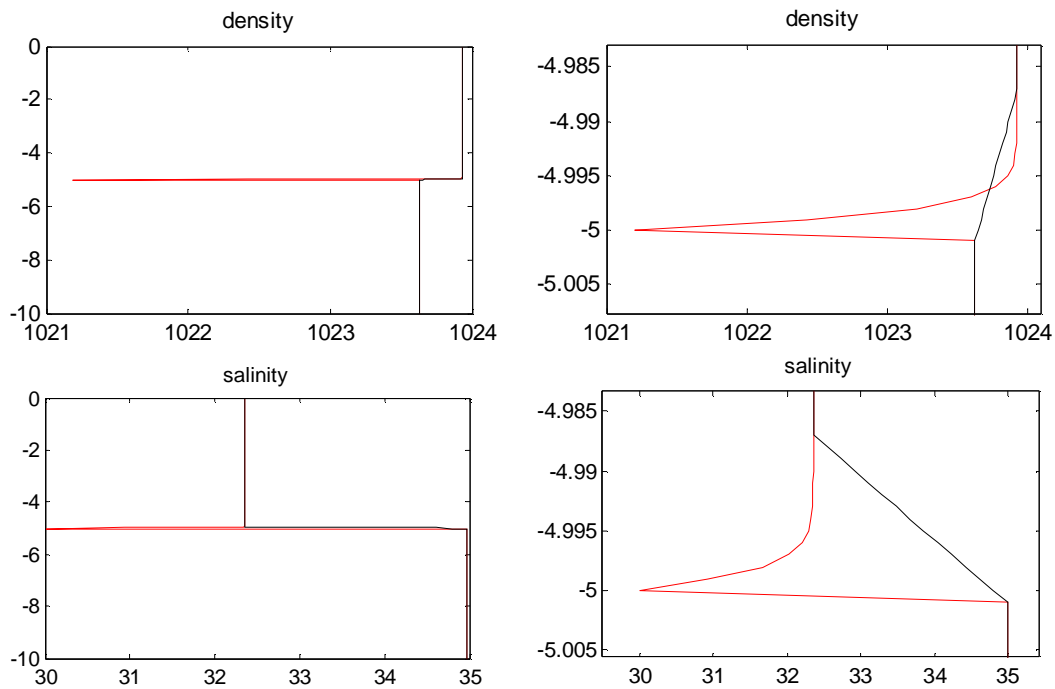


Figura 3.31 Perfils de densitat i salinitat. Els perfils inicials estan representats en roig, els perfils corregits, en negre. La columna de l'esquerra mostra els perfils complets, i la de la dreta, els perfils ampliats a la regió d'errors

Tal com veiem en els resultats representats, les zones d'error detectades es cancel·len a través d'una interpolació lineal. Aquesta correcció pot no coincidir exactament amb els valors teòrics, però elimina l'error inicial de forma considerable.

El principal avantatge d'aquest mètode és que no requereix saber les característiques dels filtres -freqüències de tall -, que són dades que pot ser que a vegades no disposem d'elles. És a dir, únicament coneixent les dades dels perfils podem aplicar la correcció.

3.3.3 Aplicació dels mètodes a dades experimentals

Fins ara hem utilitzat els mètodes descrits en proves a partir de dades de test o teòriques que creàvem nosaltres mateixos. Ara aplicarem els mètodes creats a dades experimentals extretes de l'actuació de l'*SCAMP* en un entorn concret.

La primera prova es basa en les dades experimentals que mostra la figura 3.32.

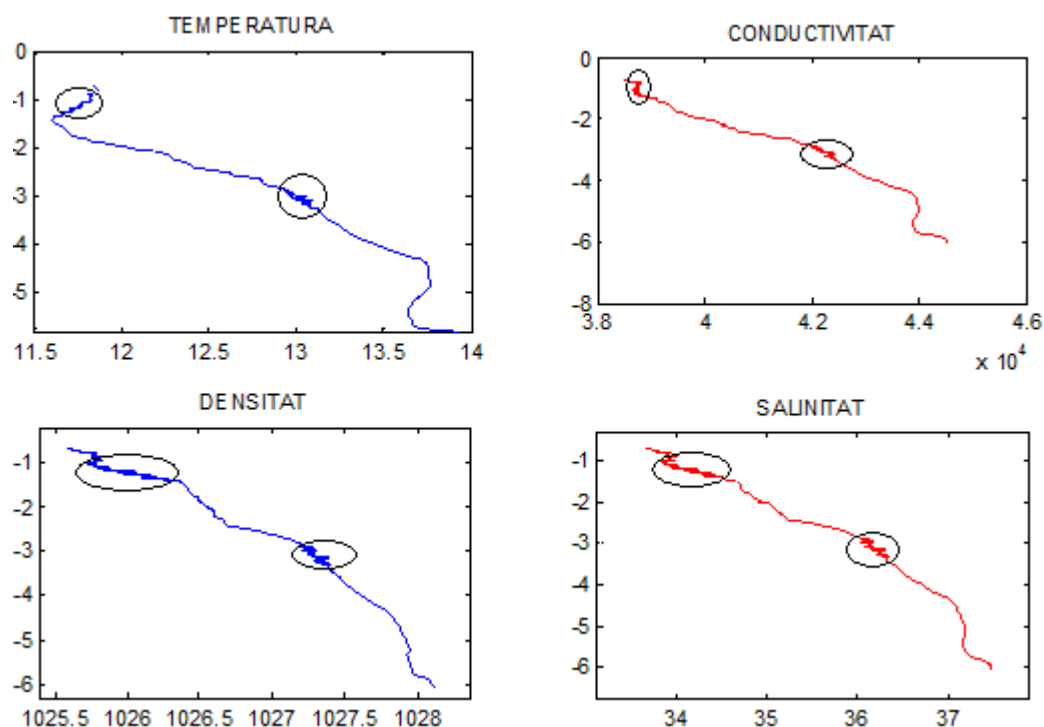


Figura 3.32 A dalt, dades de temperatura i conductivitat obtingudes de l'SCAMP. A baix, càlcul dels perfils de densitat i salinitat. Amb un cercle negre es marca cadascuna de les zones de barreja d'aigua existents

Tal com s'aprecia en la figura, les dades de temperatura i conductivitat que proporcionen els sensors contenen trams de fluctuacions que corresponen a zones de barreja d'aigua. Per tant, aquestes regions de barreja també s'han de reflectir en el posterior càlcul de la densitat i salinitat, tal com mostra la figura.

Una forma de diferenciar les zones de barreja i els *spikes* és que les zones de barreja conformen un tram prolongat de diverses mostres que presenten fluctuacions, com el cas de les regions assenyalades a la figura. En canvi, l'*spike* es manifesta en forma d'un únic pic puntual. A banda de les variacions que pertanyen a zones de barreja, en els perfils calculats no notem cap mena de fluctuació puntual que representi un *spike*.

Pel que fa als mètodes descrits de reducció d'*spikes*, la tècnica d'interpolació supprimeix les zones turbulents, tal com la figura 3.33 mostra –part superior-. Aquesta correcció, però, no ens interessa perquè aquestes zones no proporcionen dades errònies; corresponen a zones on realment hi ha barreja, i no a pics de salinitat.

En relació a la tècnica de *sharpening*, podem veure en la figura 3.33 –part inferior- com aquesta tècnica no realitza cap tipus d'aportació. Tant les dades originals com les dades editades se sobreposen en la gràfica. La interpretació que fem d'aquest fet és que els *spikes* resultants deuen ser tan lleus que aquest mètode no els detecta –tampoc ho fa el mètode d'interpolació-. La raó per la qual els *spikes* són tan poc accentuats podria ser que la variació del rang de temperatura és petita (entre 11.6 i 13.9 °C) en comparació als exemples

teòrics que havíem vist fins ara, on podia arribar a variar entre 15 i 24 °C. Aquest fet fa que l'efecte de *salinity spiking* sigui poc pronunciat.

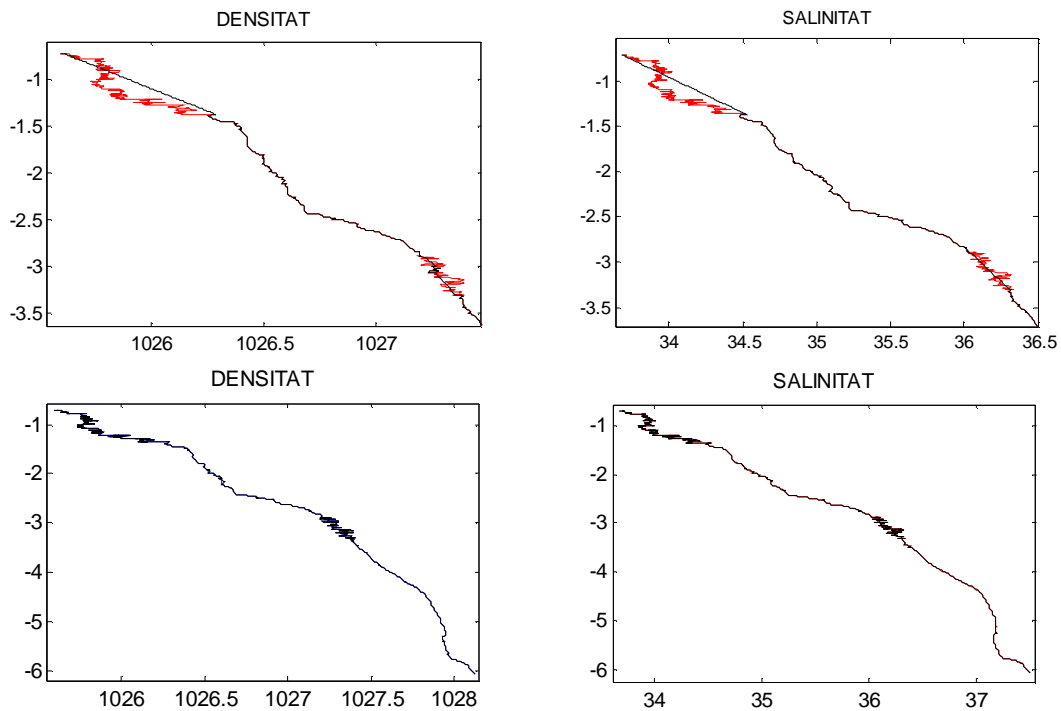


Figura 3.33 A dalt, aplicació del mètode d'interpolació, i a baix, aplicació del mètode de *sharpening*. En vermell, dades originals, en negre, dades editades

Aquesta prova no ens ha permès visualitzar l'efectivitat dels mètodes a l'hora d'eliminar pics de salinitat. Així doncs, tot seguit s'aplicaran els mètodes sobre dades que sí que continguin *spikes*. La figura 3.34 mostra les noves dades.

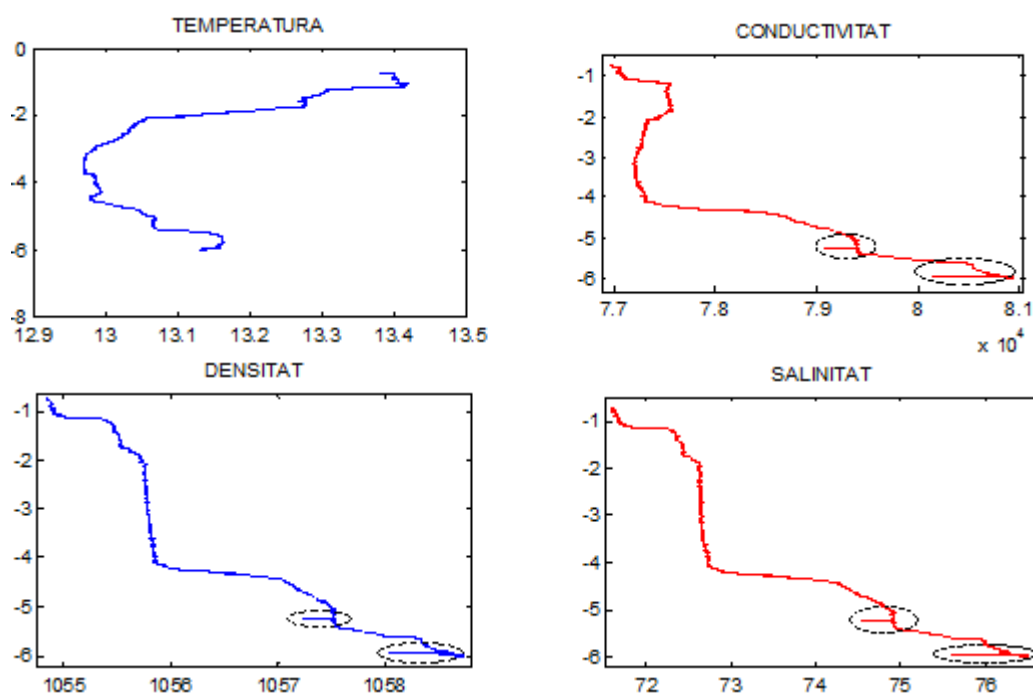


Figura 3.34 A dalt, dades de temperatura i conductivitat extretes dels sensors. A baix, càlcul dels paràmetres de densitat i salinitat. Amb un cercle negre es marquen els *spikes* apareguts

Els perfils de dades mostren, en primer lloc, fluctuacions en el perfil de conductivitat –assenyalades en la figura -. Aquestes fluctuacions es poden considerar pics puntuals d'errors ja que no formen part d'un tram prolongat de variacions. Així doncs, aquests pics correspondrien a errors de mesura, o sigui, *spikes* causats pel mal funcionament del sensor de conductivitat. Lògicament, aquests *spikes* propicien l'aparició d'altres *spikes* en el càlcul dels perfils de densitat i salinitat –també assenyalats en la figura -. Per tant, ara estem en condicions de comprovar si els mecanismes de què disposem eliminen realment aquests errors.

En primer lloc, considerarem el mecanisme d'interpolació. Aquesta tècnica requereix de l'elecció d'un llindar de variació, que determinarà a partir de quin valor de variació les mostres es podran considerar part d'un *spike*. Cada perfil de dades, en funció de les seves característiques, pot tenir un llindar diferent. La cerca d'un llindar apropiat no és una tasca trivial; per fer-ho possible, hem hagut de realitzar primer diverses proves amb diferents llindars i observar els resultats. El valor de llindar que ha proporcionat l'efecte més precís a l'hora d'editar els perfils ha estat l'escollit.

Una altra eina que pot ser útil en l'assignació del llindar és l'ús d'un histograma que representi la freqüència de les variacions (veure també apartat 3.3.2). En el nostre cas, l'histograma resultant està detallat en la figura 3.35.

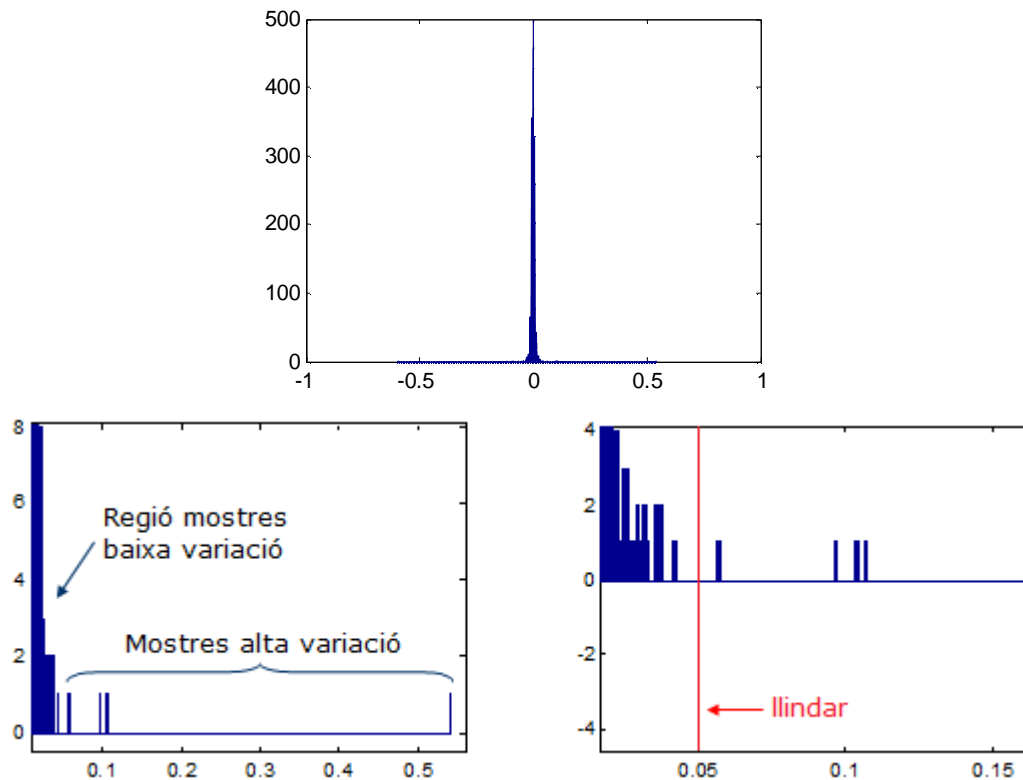


Figura 3.35 A dalt, histograma complet de 1000 barres en base a les variacions de les dades. A baix a l'esquerra, una primera ampliació, amb dos zones diferenciades; a la dreta, una representació encara més ampliada

Com podem observar en els histogrames, es pot distingir una regió de variacions molt properes a zero. Al marge, hi ha tota una sèrie de mostres que resten separades d'aquesta regió. Aquestes mostres són molt poques en comparació a la resta i presenten una variació significativament més alta. A partir d'això, es pot intuir que aquestes mostres pertanyen als *spikes*. El punt que separa la regió que conté la majoria de mostres de les mostres d'*spikes* seria el llindar que escolliríem. En aquest cas, com es pot veure en la figura, un llindar adequat seria la variació de 0.05.

Tal com hem pogut comprovar, per aquestes dades l'estudi de l'histograma és molt útil per determinar el llindar que utilitzarem. Tanmateix, aquesta metodologia no és sempre igual d'eficaç, i algunes vegades haurem de recórrer a la cerca del llindar a través de provatures fins trobar el valor més idoni.

En proves anteriors on utilitzàvem dades teòriques, el llindar que escollíem era de 0.0095. Aquest llindar no seria vàlid en aquest cas ja que prendria com a *spikes* mostres que no ho són. La figura 3.36 mostra l'aspecte dels perfils editats amb la interpolació descrita.

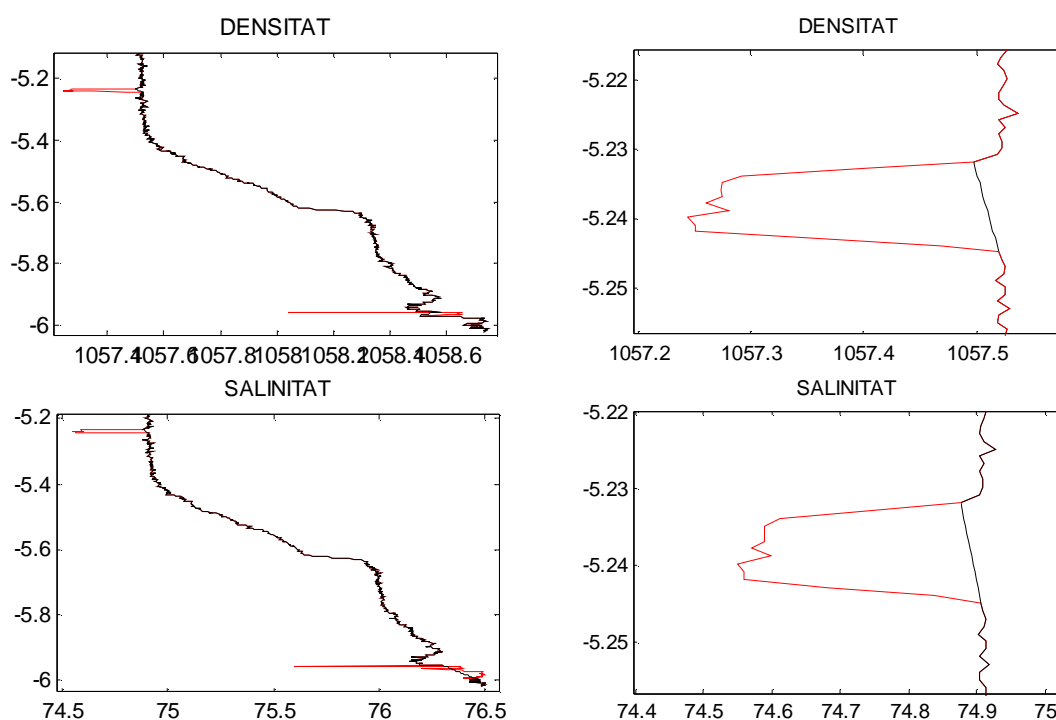


Figura 3.36 Representació dels perfils de densitat i salinitat editats –en negre– en comparació amb els originals –en roig–. La columna de l'esquerra mostra perfils sencers i la de la dreta, ampliacions de les zones d'*spikes* corregides

Com es veu en la figura, la interpolació elimina perfectament cadascun dels *spikes*. Per tant, és un mètode molt vàlid per aquestes dades. Procedim ara a aplicar el mètode *sharpening*, que obté els resultats detallats en la figura 3.37.

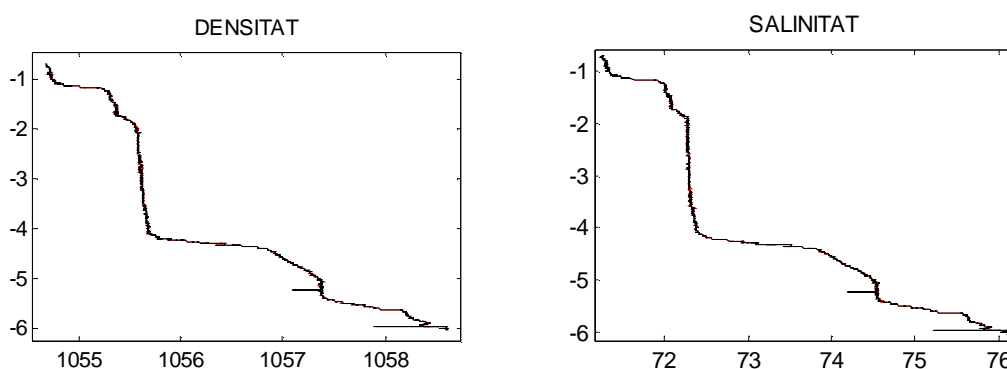


Figura 3.37 Perfils de densitat i salinitat editats –en negre–, i originals –en roig–

Tal com demostren els resultats, el mètode de *sharpening* no és efectiu en aquest cas, ja que les dades obtingudes són exactament les mateixes que les originals. Es pot afirmar que el mètode de *sharpening* només és capaç de detectar i corregir aquells *spikes* que provenen de l'efecte del desajustament dels temps de resposta dels sensors. En el nostre cas concret, els *spikes*

provenen, tal com hem explicat, de l'efecte del mal funcionament del sensor de conductivitat.

Tot seguit, reproduïrem la mateixa prova per unes altres dades, i confirmarem les conclusions a les que hem arribat. La figura 3.38 detalla les noves dades.

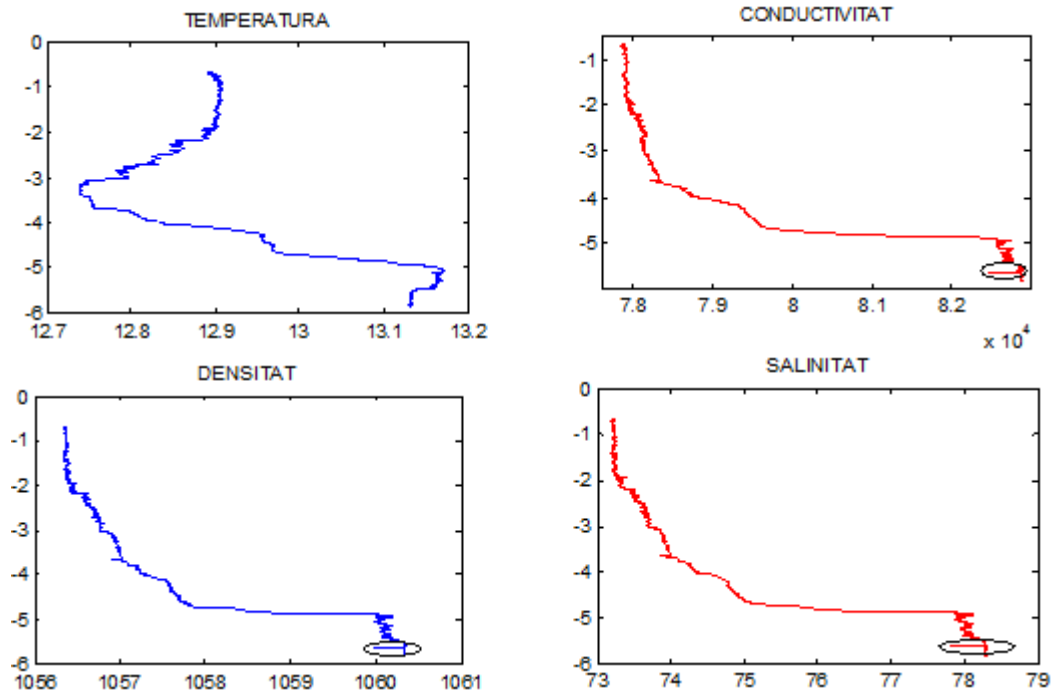


Figura 3.38 A dalt, dades de temperatura i conductivitat extretes dels sensors. A baix, càlcul dels perfils de densitat i salinitat. Amb un cercle negre es marquen els *spikes*

Com en l'exemple anterior, un error de mesura destacat en el perfil de conductivitat produeix l'aparició d'*spikes* –marcats en la figura- en el càlcul dels paràmetres de densitat i salinitat.

Tot seguit, processem les dades mitjançant la tècnica d'interpolació. S'ha dut a terme la corresponent assignació del valor del llindar, mitjançant el procediment ja descrit anteriorment. El llindar escollit és ara de 0.02, un valor que discrimina variacions més petites que en el cas anterior, que era de 0.05. La figura 3.39 en mostra els resultats.

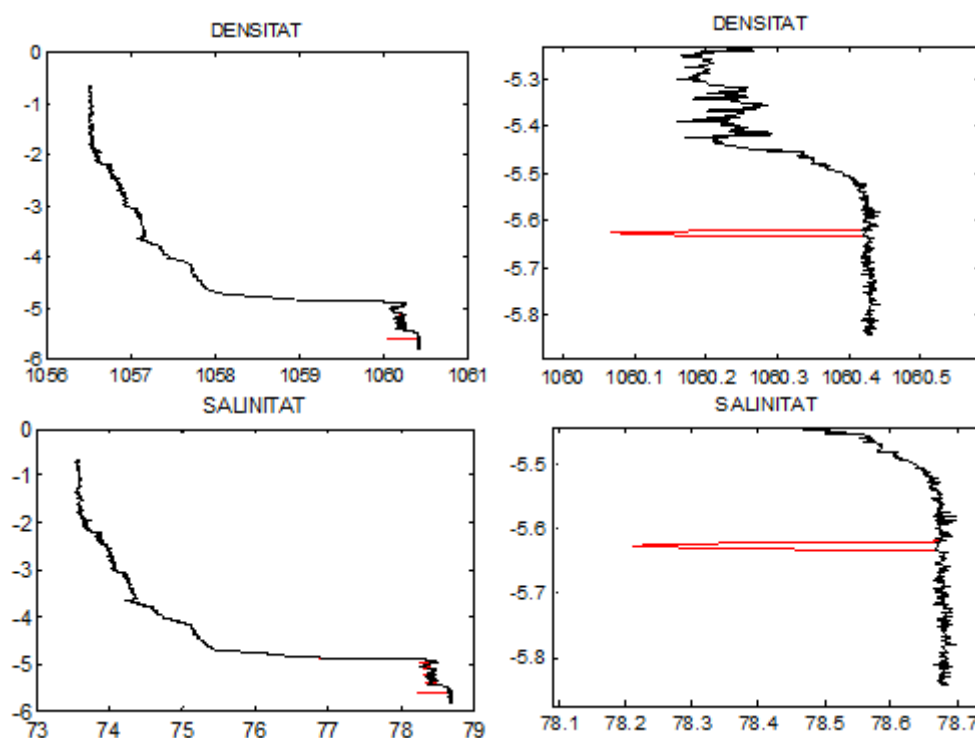


Figura 3.39 Representació dels perfils de densitat i salinitat editats –en negre– en comparació amb els originals –en roig–. La columna de l'esquerra mostra perfils sencers i la de la dreta, ampliacions

Atenent a la figura, l'*spike* que teníem en cada perfil queda substancialment minimitzat. Això demostra novament l'efectivitat del mètode d'interpolació. Finalment, veiem els resultats que s'obtenen a través del mètode *sharpening*.

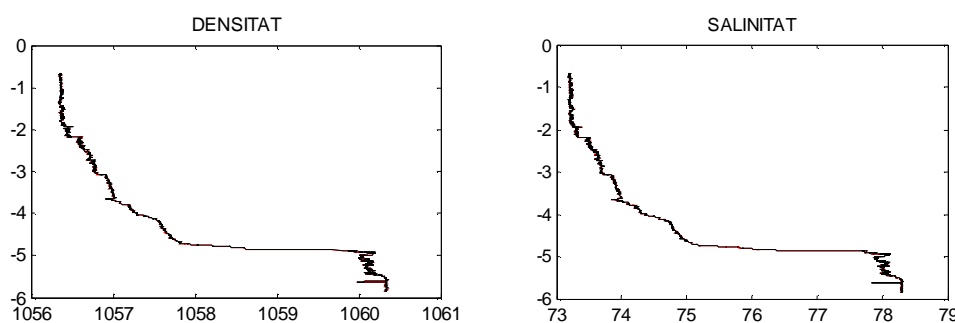


Figura 3.40 Càlcul dels perfils de densitat i salinitat editats –en negre– i dels perfils originals –en roig–

De la mateixa manera que en el cas anterior, el *sharpening* no aporta cap efecte a les dades, com mostra la figura 3.40. Per tant, confirmem que aquest mètode tampoc és vàlid per eliminar *spikes* en aquestes dades. Com ja hem comentat, això es podria explicar perquè els *spikes* que apareixen en les nostres dades provenen del mal funcionament del sensor de conductivitat, i no del fet que els sensors presentin respostes dinàmiques diferents.

CAPÍTOL 4. CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS

4.1 Conclusions

Un cop finalitzat el projecte, es pot afirmar que els objectius principals que ens havíem marcat s'han anat complint. Seguidament es mostren els objectius inicials seguits de les tasques que s'han dut a terme.

- Realitzar una cerca i estudi bibliogràfic que ens permeti situar en el projecte:
 - S'ha realitzat un estudi exhaustiu de la bibliografia existent sobre les magnituds i equips oceanogràfics principals.
 - S'ha classificat els equips en dos tipus –sondes de baixa i alta resolució– i s'han caracteritzat, tot explicant els seus desavantatges.
- Analitzar el fenomen del *salinity spiking* en tot tipus de sondes:
 - S'ha identificat el *salinity spiking* com un dels problemes que poden presentar les sondes oceanogràfiques.
 - S'ha definit aquest efecte, tot indicant les possibles causes per a cada tipus d'instrument i fent una àmplia cerca bibliogràfica dels diversos mètodes de correcció existents.
- Idear mètodes propis de correcció del *salinity spiking*
 - Realització de diversos tests amb el software científic *Matlab*[®], per tal d'estudiar més a fons l'efecte dels pics de salinitat i les tècniques de correcció existents.
 - Creació i desenvolupament d'un mètode propi de minimització d'*spikes*, anomenat mètode d'interpolació.

El mètode creat (mètode d'interpolació) és una tècnica que millora el mètode de correcció existent més conegut (*sharpening*), en el sentit que no requereix conèixer els paràmetres dels sensors. És a dir, sense conèixer les característiques del nostre sistema de mesura, i només disposant de les dades dels perfils, serem capaços d'efectuar una correcció d'interpolació. Aquest fet representa un aspecte molt innovador, ja que sovint pot succeir que no coneixem els paràmetres dels sensors.

Per últim, comentar que aquest projecte ha servit també per copsar la presència que té l'ús dels sistemes d'adquisició i processament de dades en el camp de l'oceanografia. D'altra banda, també hem pogut prendre contacte amb un fenomen de la importància del *salinity spiking*, que afecta de manera significativa processaments de detecció de barreges d'aigua, com el desplaçament de *Thorpe*.

4.2 Treballs futurs

Com a aspectes que es poden millorar de cara a treballs futurs, podem mencionar el fet que la correcció que efectua el mètode d'interpolació no és ben bé exacta. Com que es basa en una interpolació lineal, els trams corregits resulten en línies rectes que eliminen els *spikes* de forma un pèl brusca. Per tant, és possible que les dades resultants no es corresponguin exactament amb les dades teòriques. Així doncs, caldria dissenyar un mecanisme addicional que ajustés més les dades finals a les dades teòriques.

Un altre aspecte millorable és el mecanisme de cerca d'un llindar adequat per aplicar aquest mètode. Tot i que, en funció de les dades, l'ajuda d'un histograma pot ser molt útil, en moltes ocasions haurem de recórrer a la realització de provatures, fins arribar a assolir un valor de llindar vàlid pel nostre sistema. Aquesta tasca pot arribar a ser feixuga, i seria molt útil poder disposar d'un mecanisme més eficient.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Sondes and CTDs*. NOAA Ocean Explorer. Disponible a:
http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/tools/sonde_ctd/sondectd.html
- [2] Topham, D. R., and R. G. Perkin. *CTD Sensor Characteristics and Their Matching for Salinity Calculations*. IEEE J. Oceanic Eng, pàgs: 107/117 (1988). Disponible a:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=564
- [3] Turbulence Ocean Microstructures Acquisition Profiler, TurboMAP. JFE manufacturers of oceanographic research instruments. Disponible a:
<http://www.jfe-alec.co.jp/html/turbulence.htm>
- [4] R. Boniforti, A. Bordone, V. Difesca, A. Schirone. *Un algoritmo "open source" per la correzione dei disaccoppiamenti dei tempi di risposta di sonde CTD-O2*. Centro Ricerche Ambiente Marino 19100, La Spezia. Disponible a:
http://192.107.66.195/Buoy/%5BITA%5D_Relevant_Papers.htm
- [5] Pederson, A.; Gregg, M. *Development of a Small In situ Conductivity Instrument*. Oceanic Engineering, IEEE Journal of Volume 4, Issue 3, pàgs: 69 – 75 (Jul 1979). Disponible a:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1151111
- [6] Vollmer, M.K. *Sharpening and matching response signals for finescale sensors*. WP 630 MV, Centre for Water Research, University of Western Australia, Perth (1991)
- [7] *Turbulence*. Wikipedia. The Free Enciclopedia. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Turbulence>
- [8] Helmut Z. Baumert, John H. Simpson, Jürgen Sündermann. *Marine Turbulence: Theories, Observations, and Models*. Cambridge University Press. ISBN 0521837898, 9780521837897 (2005).
- [9] Jaume Piera, Elena Roget, Jordi Catalan. *Turbulent Patch Identification in Microstructure Profiles: A Method Based on Wavelet Denoising and Thorpe Displacement Analysis*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, article pàgs. 1390-1402 (2001). Disponible a:
[http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&doi=10.1175%2F1520-0426\(2002\)019%3C1390%3ATPIIMP%3E2.0.CO%3B2](http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&doi=10.1175%2F1520-0426(2002)019%3C1390%3ATPIIMP%3E2.0.CO%3B2)
- [10] *Wavelet method*. Wikipedia. The Free Enciclopedia. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Wavelet>
- [11] *Temperature*. Wikipedia. The Free Enciclopedia. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature>

- [12] *Temperature of Ocean Water*. University Corporation for atmospheric Research, Michigan. Disponible a:
<http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Water/temp.html>
- [13] *Measuring Water Conductivity*. Byophysica Inc., Toronto. Disponible a:
<http://www.biophysica.com/conductivity.htm>
- [14] *Decibar*. Wikipedia. The Free Enciclopedia. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Decibar>
- [15] *Ocean Water: Pressure*. Science and Technology Focus. Office of Naval Research. Disponible a:
<http://www.onr.navy.mil/Focus/ocean/water/pressure1.htm>
- [16] *Pressure-Depth profile*. American Association of Petroleum Geologists. Disponible a:
<http://www.searchanddiscovery.com/documents/2006/06089puckette/images/07.jpg>
- [17] *Conversion Between Conductivity and Salinity*. Code 10 algorithms. Disponible a:
http://www.code10.info/index.php?option=com_content&view=category&id=54&Itemid=79
- [18] *CTD SBE 911plus*. Sea-Bird website. Disponible a:
http://www.seabird.com/products/spec_sheets/911data.htm
- [19] *SCAMP Specifications*. Project Measurement Engineering. Disponible a:
http://www.pme.com/HTML%20Docs/Scamp_Home.html
- [20] *SCAMP manual*. Project Measurement Engineering. Disponible a:
http://www.pme.com/PDFs/USB_SCAMP.pdf
- [21] *FP07 NTC Thermistor datasheet*. Project Measurement Engineering. Disponible a: <http://www.pme.com/PDFs/FP07.pdf>
- [22] *PME Fast Conductivity Sensor*. Project Measurement Engineering. Disponible a: http://www.pme.com/HTML%20Docs/Scamp_FastC.html
- [23] Millard, R. C. and K. Yang. *CTD calibration and processing methods used at Woods Hole Oceanographic Institution*. Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report. WHOI (Mass.,USA, 1993).
- [24] Farhad M. Fozdar, Geoffrey J. Parkar, and Jörg Imberger. *Matching Temperature and Conductivity Sensor Response Characteristics*. Department of Civil Engineering, The University of Western Australia, Nedlands, WA 6009 (Australia, 1984). Disponible a:
<http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&issn=1520-0485&volume=015&issue=11&page=1557&ct=1>

[25] *Marinna Martini, James D. Irish*. Removing ship's motion effects from CTD data. Institute for the Study of Earth, Ocean and Space. University of New Hampshire, Durham, NH 03824.

[26] Barton, E. D.; Stevenson, Merritt R.; Gilbert, William E. *CTD/STD measurements off the NW African coast near Cabo Bonveiro during joint-I*. Corvallis, Or. : School of Oceanography, Oregon State University, Mar-1975. Disponible a:
http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/6669/1/DR_no_63_ocr.pdf

[27] UNESCO/ICES/SCOR/IAPSO. *La escala de salinidades prácticas de 1978 y la ecuación internacional de estado del agua del mar de 1980*. Grup Mixt d'Experts sobre Taules i Patrons Oceanogràfics (1980). Documents Tècnics de la UNESCO Sobre Ciències del Mar, 36. (Unesco, 1984). Disponible a:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000461/046148sb.pdf>

[28] *Matlab*® tutorial. The Mathworks. Disponible a:
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/index.html?/access/helpdesk/help/techdoc/>

[29] *Matlab*® Linear Interpolation. School of Computing Science, Simon Fraser University. Disponible a:
http://www.cs.sfu.ca/~tamaras/waveshapeSynth/Matlab_Linear_Interpolation.html

ANNEXES

Annex A. Magnituds d'interès oceanogràfic	57
A.1 Temperatura	57
A.2 Conductivitat	58
A.3 Pressió	59
A.4 Salinitat	61
A.5 Densitat	62
Annex B. Exemples comercials d'instruments de mesura oceanogràfics	64
B.1 CTDs: <i>SBE 911plus</i> de <i>Seabird</i>	64
B.2 Sonde de microestructura: <i>SCAMP</i>	65
Annex C. Salinity spiking en CTDs (ampliació)	70
C.1 Altres causes d'aparició d' <i>spikes</i>	70
C.1.1 Retard entre els sensors	70
C.1.2 Ship motion	70
C.1.3 Diferència de cel·les mesurades	71
C.2 Tècniques de resolució de <i>salinity spiking</i>	71
C.2.1 Diferència de respostes dinàmiques	71
C.2.2 Retard entre els sensors	72
C.2.3 Ship motion	72
C.2.4 Diferència de cel·les mesurades	74
Annex D. Sistema passa baixes de primer ordre	75
Annex E. Codis confeccionats en les diverses proves	77
E.1 Càlcul de la densitat i salinitat a partir d'uns perfils donats de dades	77
E.2 Processament de dades teòriques i càlcul de densitat i salinitat	78
E.3 Editor de dades de diversos rangs	80
E.4 Detecció de la presència d' <i>spikes</i> en funció del rang d'entrada	81
E.5 Mètodes de correcció de <i>sharpening</i> i interpolació	83

Annex A. Magnituds d'interès oceanogràfic

A.1 Temperatura

La temperatura és la propietat física d'un sistema que defineix les nocions comunes de calent i fred. Específicament, és una mesura de l'energia cinètica dels àtoms, molècules, etc. que formen un cos i un dels principals paràmetres de la termodinàmica [11].

Per tal de fer una anàlisi d'aquesta magnitud en un entorn oceanogràfic, cal discernir primer entre les diverses parts o capes que conformen un oceà. En primer lloc, la part superior s'anomena capa de superfície. La següent capa a nivell de profunditat seria la termoclina, que no és res més que una capa frontera entre la capa de superfície i el fons de l'oceà, que representaria la capa anomenada oceà profund.

El sol incideix sobre la capa de superfície de l'oceà, tot escalfant l'aigua continguda en ella. Altres agents externs com el vent i les ones mesclen aquesta capa de baix cap a dalt, amb la qual cosa la calor arriba a nivells més inferiors. La temperatura en aquesta capa superficial varia en funció de la latitud. Els mars polars –altes latituds- poden enregistrar temperatures de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ mentre que al Golf Pèrsic –baixes latituds- les temperatures poden arribar als $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'aigua de l'oceà obté l'estat sòlid a $-1.94\text{ }^{\circ}\text{C}$. Això significa que a altes latituds la formació de gel és molt probable. En general, la temperatura mitjana de la capa de superfície d'un oceà és d'uns $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La termoclina és la capa on la temperatura assoleix una variació més ràpida en funció de la profunditat. Aquesta variació pot arribar a ser de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en tan sols 150 m. El 90 % del volum total d'aigua en un oceà es troba per sota de la capa termoclina. Pel que fa a la capa d'oceà profund, la temperatura segueix disminuint, però a un ritme ja molt menor. L'oceà profund no està ben barrejat i està definit, a la vegada, per diverses subcapes horitzontals més fines, cadascuna de les quals presenta una mateixa densitat. La majoria d'aquesta capa té una temperatura mitjana que oscil·la entre 0 i $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura A.1 mostra un perfil típic de la temperatura en un medi oceanogràfic, amb les tres capes diferenciades [12].

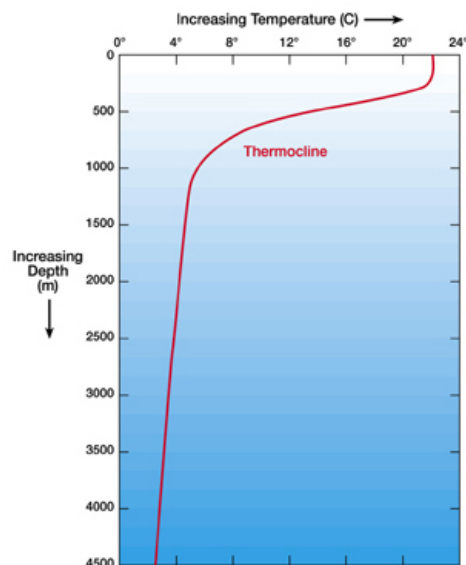


Figura A.1 Perfil model de la temperatura respecte la profunditat en un oceà de baixa a mitjana latitud. Com es pot apreciar, la termoclina és la capa que correspon a la variació de temperatura més alta

A.2 Conductivitat

La conductivitat elèctrica fa referència a l'habilitat d'una solució de propagar un corrent elèctric. Quan una diferència de potencial s'esdevé al llarg d'un conductor, les seves càrregues es mouen i flueixen habilitant la formació d'un

corrent elèctric. La conductivitat (σ) no és més que una mesura de la relació entre la densitat superficial de corrent (J) i el camp elèctric creat E . L'expressió A.1 reflecteix aquesta definició:

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (\text{A.1})$$

La conductivitat elèctrica és la magnitud inversa a la resistivitat elèctrica, ρ . Les seves unitats en el Sistema Internacional són siemens per metre ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$).

La conductivitat elèctrica depèn de forma notable d'una de les magnituds també d'interès, la temperatura. Aquest fet serà important a l'hora d'explicar certes propietats en les mesures de paràmetres d'un medi oceanogràfic. Pel que fa l'aigua, aquesta dependència es basa en el fet que a temperatures altes, l'aigua presenta la capacitat de tenir més sals dissoltes. Per tant, la conductivitat és alta. En canvi en aigües més fredes, la capacitat de dissoldre sals minva, per la qual cosa també ho fa la conductivitat [13].

Aquesta dependència descrita fa que a l'hora d'estimar la conductivitat elèctrica de certs materials o medis hàgim de fixar el paràmetre temperatura. La taula A.1 mostra una relació de la conductivitat de diversos tipus d'aigües amb les seves pertinents condicions de mesura.

Taula A.1. Conductivitats de diversos tipus d'aigua

Medi	Conductivitat elèctrica ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condicions i observacions
Aigua del mar	5	23	Per una salinitat mitjana de 35 g/l i sobre uns 23 $^{\circ}\text{C}$
Aigua potable	0.0005 to 0.05	-	Aquest rang de valors és típic d'aigua potable d'alta qualitat
Aigua desionitzada	5.5×10^{-6}	-	Canvia a 1.2×10^{-4} en aigua en absència de gas

A.3 Pressió

La pressió és l'efecte que s'esdevé quan una força és aplicada sobre una superfície. La fórmula A.2 recull aquesta definició:

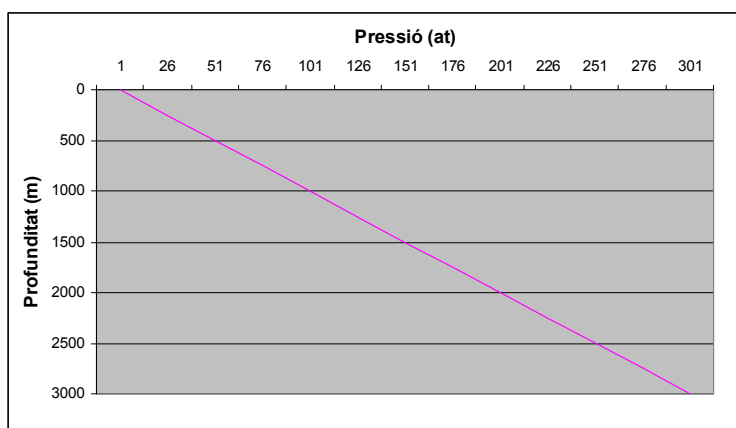
$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{A.2})$$

On F és la força aplicada i A , la superfície sobre la qual s'exerceix.

La unitat per mesurar la pressió en el Sistema Internacional és el pascal (Pa), que equival a un newton de força aplicat a un metre quadrat de superfície. Tot i això, la pressió es pot expressar a través de moltes altres unitats, dependent del camp d'aplicació, com la lliura-força per polzada quadrada (psi), el bar, la bària (b), la polzada de mercuri (inHg) i l'atmosfera (at). Els oceanògrafs acostumen a utilitzar com a unitats els decíbars (dbar) [14]. Un decíbar equivaldria a 10,000 Pa, o sigui 10,000 newtons per metre quadrat de superfície.

Encara que no es percebi, a la superfície del mar una pressió de 14.7 psi – equivalent aproximadament a 100 kPa, 1 bar i 1 at- empeny en direcció vertical i cap avall el nostre cos. Com a compensació, el nostre cos exerceix la mateixa força però en sentit contrari. Com que l'aigua és més pesada que l'aire, la pressió incrementa a mesura que ens submergim sota l'aigua. Aquest increment és d'1 dbar -0.1 at- cada metre, o de 1 at cada 10 metres [15]. La figura A.2 reflecteix aquesta variació de pressió en relació a la profunditat [16].

Per moure's en aquestes pressions tan altes calen alguns ajustaments. Els humans poden submergir-se tres o quatre at sense cap problema, però per anar més enllà es requeriria de submarins. En canvi, les espècies marines són capaces de suportar i conviure amb canvis de pressió molt elevats en períodes de temps molt curts.



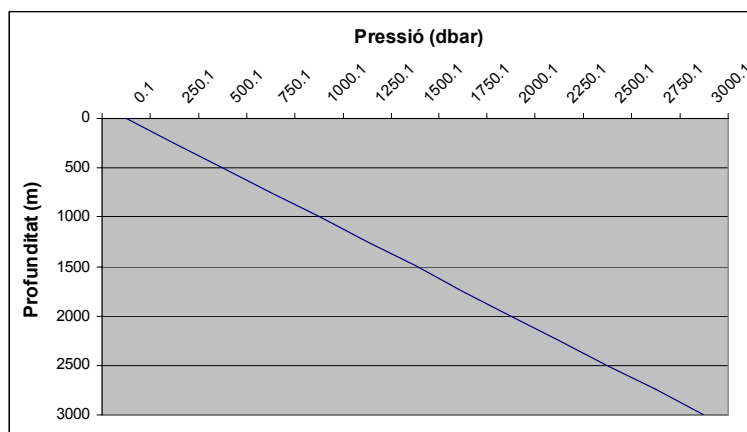


Figura A.2 Perfil de la pressió en funció de la profunditat de l'aigua en atmosferes (at), a dalt, i en decíbars (dbar), a baix. Podem apreciar que, com ja s'ha descrit, la pendent és d'1 at o 10 dbar per cada 10 m

A.4 Salinitat

La salinitat és la magnitud que representa el contingut de sals dissoltes en un determinat cos d'aigua; en oceanografia es tractaria d'aigua de mar.

Pel que fa a les unitats, s'utilitza el percentatge (%) i, sobretot en el camp de l'oceanografia, parts per miler (ppm o ‰), que equival aproximadament a grams de sal per litre de solució (g/l). El criteri per mesurar la salinitat ha tingut una llarga evolució al llarg de la història. En un bon principi –abans del 1978- la salinitat era expressada en ‰, basant-se en la relació de conductivitats elèctriques entre una mostra i el “mar de Copenhaguen”, que era un mar artificial amb clorinitat i salinitat determinades format per ser un estàndard mundial. El 1978, els oceanògrafs redefiniren la salinitat en una Escala Pràctica de Salinitat, com una relació de conductivitats entre una mostra i una solució estàndard de KCl. Aquesta relació no tindria unitats, per tant una salinitat de 35 –com l'aigua de mar- no equivaldria exactament a 35 g/l.

La salinitat en un entorn marí depèn bàsicament de la temperatura i la conductivitat, magnituds que són molt presents en el projecte. A temperatures més altes, la conductivitat serà major, per tant la capacitat de l'aigua per dissoldre més quantitat de sals augmentarà. A la inversa, a temperatures baixes, la conductivitat serà també baixa i la capacitat de dissoldre sals també decreixerà. Es pot afirmar que generalment, la conductivitat elèctrica presenta un pes major que la temperatura en la determinació de la salinitat [17]. Tal com s'explica en l'apartat A.5, la salinitat juntament amb la temperatura determinen la densitat de l'aigua.

La taula A.2 mostra salinitats típiques en funció de la saturació salina de l'aigua. Les aigües dels oceans o aigües marines –inclosos dins l'aigua salina– tenen uns valors entre 30 a 35 ppm.

Taula A.2. Valors de salinitat comuns en funció del grau de dissolució de la sal

Salinitat de l'aigua				
Unitats	Aigua dolça	Aigua salabrosa	Aigua salina	Aigua saturada
ppm	< 0.5	0.5-30	30-50	> 50

A banda de tenir un interès molt ampli en l'oceanografia, la salinitat és un factor ecològic important. Aquest factor es tradueix en una forta influència sobre els tipus d'organismes que poden viure en una zona d'aigua. A més a més, també incideix sobre els tipus de plantes que poden habitar en un entorn marí. Les plantes que estan adaptades a un medi salí s'anomenen halòfiles. D'altra banda, la salinitat també és un factor influent a l'hora determinar la viabilitat de l'ús de l'aigua.

A.5 Densitat

La densitat d'un material o un fluid ve definida per la seva massa per unitat de volum. El símbol de la densitat és la lletra grega ρ . L'expressió A.3 descriu la densitat matemàticament.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{A.3})$$

On m és la massa i V , el volum. Les seves unitats en el sistema internacional són quilograms per metre cúbic (kg/m^3).

La densitat de l'aigua depèn del comportament de dos paràmetres: la temperatura –en major grau– i la salinitat. En general, si la temperatura augmenta, la densitat de l'aigua decreix, i a l'inrevés. Tanmateix, en el cas de l'aigua existeix una excepció, ja que de 0 °C –punt de fusió– a 4 °C la densitat augmenta, seguint la norma contrària. La taula A.3 llista una sèrie de densitats en funció de la temperatura.

Taula A.3. Comportament de la densitat de l'aigua en funció de la temperatura. Es reflecteix clarament la norma general, excepte l'interval de 0 °C a 4 °C

Temperatura (°C)	Densitat (kg/m^3)
------------------	-------------------------------------

100	958.4
80	971.8
60	983.2
40	992.2
30	995.6502
25	997.0479
22	997.7735
20	998.2071
15	999.1026
10	999.7026
4	999.9720
0	999.8395
-10	998.117
-20	993.547
-30	983.854

Al llarg del projecte ens sustentarem en la densitat com a paràmetre clau que ens permetrà entendre alguns fenòmens. L'estudi del comportament de la densitat ens ajudarà a analitzar sobretot els corrents marins, les turbulències i les barreges d'aigua.

Annex B. Exemples comercials d'instruments de mesura oceanogràfics

B.1 CTDs: *SBE 911plus* de *Seabird*

Com a model comercial destacat de sonda CTD, destaquem el *SBE 911plus*, del fabricant *Seabird*, un dels més consolidats del sector. La taula B.1 inclou algunes de les seves especificacions. Consta de sensors de temperatura, conductivitat, pressió i fluorescència. Cal fer especial menció a l'equipament addicional que inclou. En primer lloc, una bomba d'aigua que injecta un cert flux d'aigua al sensor de temperatura a velocitat constant. En segon lloc, un conducte que trasvasa aquest volum d'aigua del sensor de temperatura cap al sensor de conductivitat per tal que aquest faci la seva pertinent mesura. Aquests elements asseguren que tant els sensors de temperatura com conductivitat mesuren la mateixa cel·la d'aigua en cada mostra. En l'apartat 2.2 s'explicarà més abastament la utilitat d'aquest equipament addicional.

Taula B.1. Característiques generals del CTD *SBE 911plus* de *Seabird* [18]

Sensors inclosos	Temperatura, conductivitat i pressió
Resolució temporal	24 Hz
Profunditat màxima de mesura	6800 m
Velocitat òptima de llançament	0.9 m/s
Convertidors A/D	8 canals. Disponibilitat d'alta potència per sensors auxiliars
Memòria interna	16 MB -15 hores de mostratge continu a 24 Hz-
Equipament addicional	Bomba d'aigua i conducte entre sensors de temperatura i conductivitat

Seguidament, la figura B.1 mostra la fotografia d'aquest equip comercial, on podem apreciar l'aspecte que té.

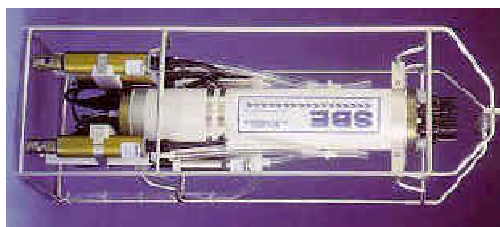


Figura B.1 Aspecte del CTD *SBE 911plus* de *Seabird*

Finalment, la taula B.2 cita les especificacions principals dels sensors que aquesta sonda conté.

Taula B.2. Especificacions dels sensors de conductivitat, temperatura i pressió en la sonda *CTD SBE 911plus* de *Seabird* [18]

	Rang de mesura	Exactitud	Estabilitat	Resolució a 24 Hz	Temps de resposta
Conductivitat	0 - 7 S/m	0.0003 S/m	0.0003 S/m	0.00004 S/m	0.065 s
Temperatura	-5 - 35 °C	0.001 °C	0.0002 °C per mes	0.0002 °C	0.065 s
Pressió	0 a fons d'escala -- 1400/2000/4200/6800/10,500 m (2000/3000/6000/10,000/15,000 psia)	0.015% del fons d'escala	0.018% del fons d'escala per any	0.001% del fons d'escala	0.015 s

B.2 Sonde de microestructura: **SCAMP**

El model comercial escollit per realitzar les diverses proves del projecte és l'*SCAMP*, del fabricant californià *PME* (*Precision Measurement Engineering*).

L'*SCAMP* és una sonda de microestructura portable i lleugera capaç de mesurar amb una resolució d'un mm per cada mostra fluctuacions de conductivitat elèctrica, temperatura i concentració de clorofil·la en llacs, badies i oceans. Consta doncs, d'un mòdul de diversos sensors molt ràpids, d'un element flotant i d'un disc basculant que permet l'instrument ascendir i descendir al llarg de la columna d'aigua. Durant el projecte es realitzen estudis d'àmbits de fins a sis metres de profunditat. Pel que fa a la freqüència d'adquisició temporal, l'instrument mesura a 100 mostres per segon, mentre que la velocitat de desplaçament ascendent o descendent és de 10 cm/s. Per tant, la resolució temporal resultaria ser d'un mil·límetre per mostra. [19][20]

Cal mencionar que existeix un compromís entre la velocitat de desplaçament i la resolució espacial del sensor. Per una banda, ens interessa que el sensor operi ràpidament a través de la columna d'aigua; per contra, com més ràpid vagi l'instrument, més distància deixarà entre mostres adquirides, fet que farà que la resolució espacial empitjori. En aquest compromís també cal considerar la influència d'un altre factor, el temps d'adquisició. Com més gran és aquest temps, més petita és la resolució espacial del sensor.

La figura B.2 mostra imatges de l'equip, on ens podem fer una idea de l'aspecte i la mida que té –uns 60 cm de llargària –.



Figura B.2 Imatge a bord de la sonda de microestructura SCAMP, de *Precision Measurement Engineering*

Pel que fa al principi de funcionament de l'SCAMP, en el mode de descens, l'equip cau en direcció vertical i cap avall amb l'ajuda del pes afegit, que permet assolir una flotabilitat negativa. Mentre l'equip baixa, es realitza el mostreig de les mesures. Cal tenir en compte que, degut a la longitud de l'aparell –uns 60 cm –, aquest perfil no contemplarà les mesures més properes a la superfície que conformin aquesta longitud. Per tant, aquest perfil és idoni si volem realitzar una anàlisi dels paràmetres en les profunditats, i no en la superfície.

El projecte es centra en els perfils obtinguts a través del mode d'ascens. La figura B.3 descriu la trajectòria recorreguda en aquest perfil. En aquest mode, el dispositiu descendeix amb l'ajut del pes afegit en direcció obliqua, gràcies a l'acció del disc basculant. Un cop ha arribat a la profunditat desitjada, l'equip allibera el pes (punt 3 de la figura), i comença a prendre mesures tot ascendint verticalment i cap a la superfície, fins a assolir-la (punt 4 de la figura). D'aquesta manera, la baixada inclinada evita que les mostres en l'ascens continguin aigua barrejada del descens. Contràriament al mode de descens, aquest mode no és capaç d'adquirir les mostres més properes a la profunditat abastada, degut a la longitud del dispositiu. Així doncs, aquest perfil resulta adequat per estudiar la zona d'interfície aigua/aire de la superfície. D'altra banda, és un perfil més lent, degut a què requereix el descens oblic previ.

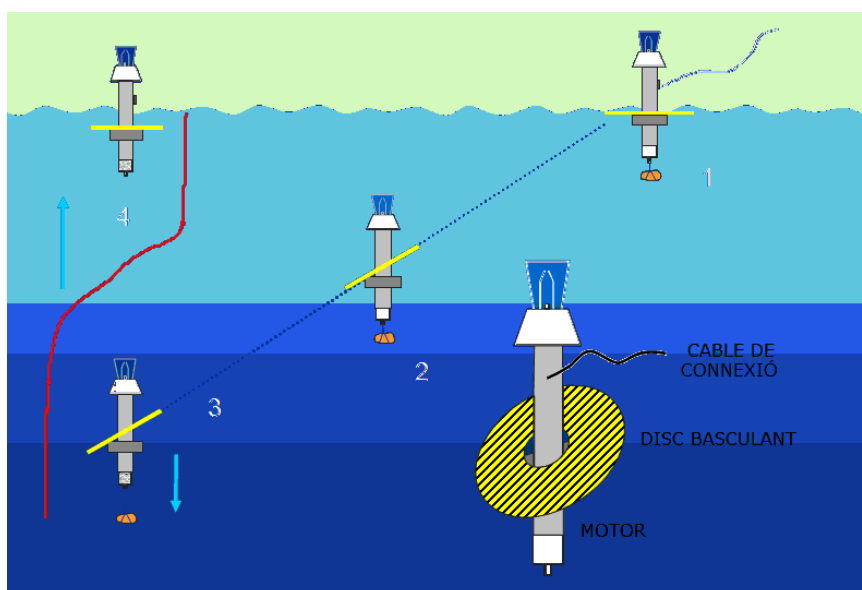


Figura B.3 Representació seqüencial del perfil d'ascens de l'SCAMP, així com dels elements que el componen. La corba de color vermell representa l'evolució d'un dels paràmetres mesurats, la temperatura, on s'aprecia el tram on varia més ràpidament, també anomenat *termoclina*

El sensor de temperatura que incorpora l'SCAMP és un termistor. Els termistors són dispositius semiconductors que es comporten com resistències amb la temperatura i presenten coeficients resistència/temperatura alts. Es basen en resistències sensibles a la temperatura i tenen, depèn del tipus, un coeficient resistència/temperatura negatiu (*Negative Temperature Coefficient, NTC*) o positiu (*Positive Temperature Coefficient, PTC*). El sensor de temperatura de l'SCAMP és un *NTC*, és a dir, la seva resistència decreix en augmentar la temperatura.

El sensor en concret és el *FP07*, de *GE Sensing Thermometrics*. Consisteix en una boleta de vidre de molt poc diàmetre, hermèticament coberta a la punta d'una vareta de vidre resistent al xoc. És un sensor adequat per mesures de temperatures de fluids que varien molt ràpidament, tot oferint exactituds millors que 0.010°C . La taula B.3 cita les diverses especificacions que caracteritza aquest sensor, en els seus diversos models.

Taula B.3. Especificacions del sensor *FP07*, de *GESensing Thermometrics* [21]

FP07 Thermometrics	
Diàmetre màxim	2.2 mm
Llargada de l'instrument	12.6 mm
Resistència a 25 °C	100KΩ +/- 25%
Temps de resposta	7 ms
Rang d'entrada	-2°C a 32°C
Profunditat mesurable	100 m

Constant de dissipació tèrmica	0.25 mW/°C
--------------------------------	------------

La figura B.4 mostra un dibuix i una fotografia d'aquest sensor *FP07*.

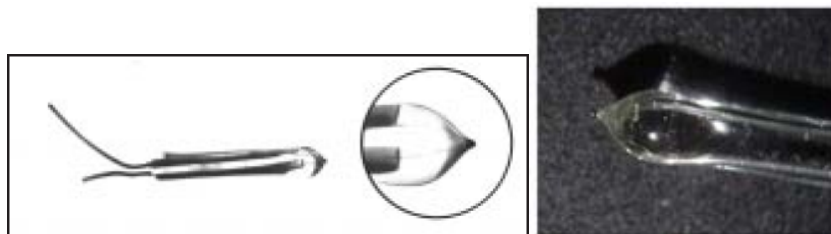


Figura B.4 A l'esquerra, representació de la forma del sensor *FP07*, de *GE Sensing Thermometrics*. A la dreta, fotografia de la zona ampliada

Com que aquest sensor està acompanyat d'una etapa electrònica, el temps de resposta global de tot el mòdul –sensor i electrònica- serà major que 7 ms. Es pot afirmar que el comportament d'aquest mòdul es podria assimilar al d'un filtre passa baixes de primer ordre amb freqüència de tall de 12.5 Hz (temps de resposta de 80 ms). El temps de resposta equivaldria a vuit cops el temps d'adquisició del nostre sistema. Això vol dir que es requeriria d'un període de vuit cops el temps d'adquisició per tal d'assolir el valor teòric de la mostra a mesurar.

En relació al sensor de conductivitat, és un dispositiu dissenyat per adquirir mesures molt ràpides i d'alta resolució de la conductivitat elèctrica de l'aigua. Presenta un temps de resposta inferior al sensor de temperatura. El sensor consta de quatre elèctrodes –esferes de Platí-, suportades per vidre fos. Cada elèctrode és galvanitzat a través d'una capa amorfa de Platí [22]. La figura B.5 mostra les dimensions típiques i una imatge d'aquest sensor.

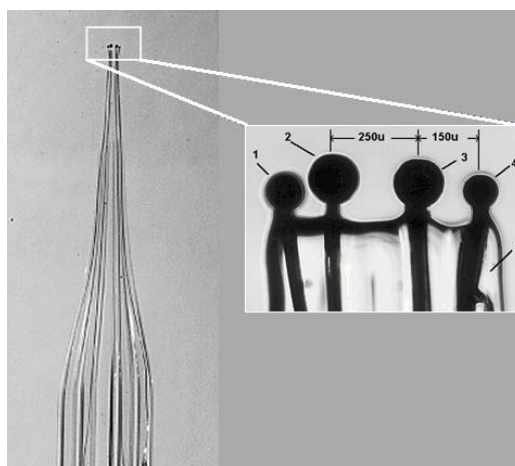


Figura B.5 A la dreta, esquema representatiu de les dimensions dels elèctrodes del sensor de conductivitat de *PME*. A l'esquerra, imatge del sensor

Aquest sensor també precedeix una etapa electrònica que retarda el temps de resposta global. La resposta dinàmica de tot el mòdul –sensor i electrònica - es pot traduir a la que presenta un filtre passa baixes de primer ordre amb freqüència de tall de 40 Hz. Per tant, el temps de resposta de tot el mòdul és de 25 ms.

La taula B.4 resumeix totes les especificacions de l'*SCAMP*, que més endavant farem servir en les diverses proves de processament de dades.

Taula B.4. Especificacions dels paràmetres relatius a l'*SCAMP*

<i>SCAMP (Precision Measurement Engineering)</i>		
Temps d'adquisició (T_a)		10 ms
Freqüència d'adquisició		100 Hz
Ample de banda (BW)		50 Hz
Velocitat de desplaçament		10 cm/s
Sensor de temperatura	Temps de resposta (T_r)	80 ms
	Freqüència de tall (f_c)	12.5 Hz
	Constant de temps (τ)	0.012 s
	T_r/T_a	8
	τ/T_a	1.2732
Sensor de conductivitat	Temps de resposta (T_r)	25 ms
	Freqüència de tall (f_c)	40 Hz
	Constant de temps (τ)	0.003 s
	T_r/T_a	2.5
	τ/T_a	0.3978

Annex C. Salinity spiking en CTDs (ampliació)

C.1 Altres causes d'aparició d'*spikes*

C.1.1 Retard entre els sensors

Un altre fenomen destacat és la possible existència d'un cert retard entre els sensors *-lag time-*. Aquest retard es basa en el fet que un sensor comença a adquirir la mesura un pèl abans que l'altre. És un altre dels efectes que també propicien l'aparició de *salinity spiking*.

C.1.2 Ship motion

El següent factor que explicarem és el referent al moviment del vaixell degut a l'onatge *-ship motion-*. Com que l'aparell va connectat al vaixell, aquest transmet a l'instrument l'oscil·lació provocada per l'onatge. Aquest fet que propicia que la velocitat de descens sigui variable, en sentit ascendent o descendent. La figura C.1 il·lustra aquest fenomen.

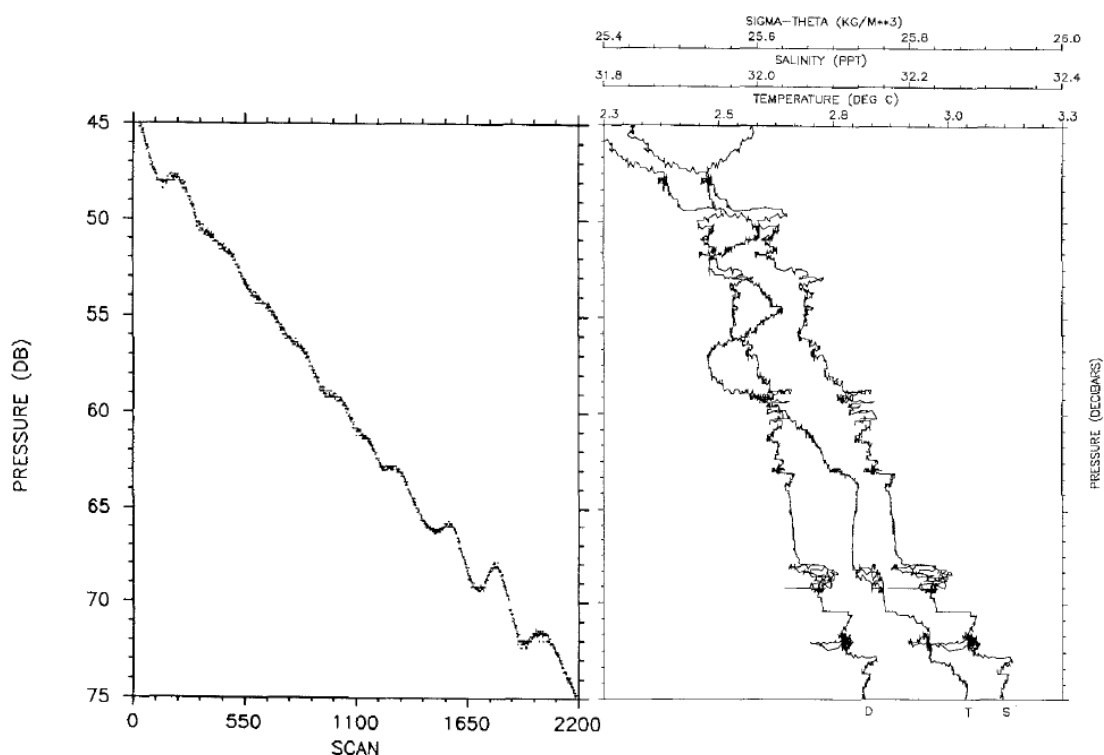


Figura C.1 A l'esquerre, perfil de descens de la pressió en funció del temps. A la dreta, perfils de densitat (D), temperatura (T) i salinitat (S), amb els seus respectius *spikes* negatius

Atenent a la figura, en primer lloc tenim una representació del perfil de la profunditat en funció del temps, que demostra que la velocitat de descens no és constant -no és una línia recta -. Es pot comprovar com cada punt que representa una variació d'aquesta velocitat per l'efecte de les ones correspon a un *spike* en el perfil de les dades [23].

C.1.3 Diferència de cel·les mesurades

Per últim, una altra causa que propiciaria l'aparició de pics d'errors en perfils de mesura seria el fet que habitualment els CTDs tenen els sensors de temperatura i conductivitat distanciat una certa separació. Aquesta separació fa que les mostres d'aigua que mesuren ambdós sensors puguin no ser les mateixes i contenir propietats i paràmetres diferents. Per tant, aquesta podria ser una altra font d'errors en els resultats.

La baixa resolució espacial d'aquests equips també pot reportar problemes d'errors en forma d'*spikes*. En un període d'adquisició en el qual els sensors han de recórrer una parcel·la d'aigua de dimensions notables, pot ser que al llarg d'aquest període els paràmetres –tant temperatura com conductivitat– puguin variar. Aquest fet fa que la mesura que els sensors hagin efectuat sigui una interpolació de valors, i no la mesura del valor inicial que hauria de mesurar. Per tant, el sensor està captant diverses cel·les d'aigua durant el temps d'adquisició, i no una única.

C.2 Tècniques de resolució de *salinity spiking*

En aquest apartat mencionarem algunes de les tècniques aplicades per eliminar els pics de salinitat. Classificarem aquests mètodes segons la causa que origina aquests *spikes*.

C.2.1 Diferència de respostes dinàmiques

Pel que fa al desajustament de respostes dinàmiques dels filtres, molts investigadors han fet ús de tècniques de filtratge anomenades *sharpening* –o emfatitzadors – aplicades sobre les dades de temperatura i conductivitat per tal de corregir els senyals. Aquests mètodes es basen en la diferència de temps de resposta entre sensors i s'utilitzen en el domini de la freqüència. Permeten efectuar correccions d'espectres a través de desplaçaments de la freqüència de tall dels filtres. D'aquesta manera els perfils mesurats serien més propers als teòrics –s'emfatitzarien les singularitats de les dades teòriques -. Com que treballem en el domini freqüencial, els espectres dels senyals mesurats han d'ésser obtinguts abans d'efectuar les correccions. D'altra banda, si es requereix de qualsevol càlcul a nivell temporal –com en la salinitat i densitat –, caldrà aplicar la transformada inversa de *Fourier* per tal d'obtenir les sèries

temporals corregides. L'únic inconvenient d'aquesta solució és que computacionalment és complexa. Oceanògrafs com *Caldwell* i *Dillon* (1981) han aplicat aquestes tècniques. Més endavant, en l'anàlisi del *salinity spiking* en sondes de microestructura, explicarem amb més detall el funcionament d'aquests mètodes, ja que els hem aplicat per processar les nostres dades.

Altres investigadors, com *Horne* i *Toole* (1980), aplicaren mètodes anàlegs però en el domini temporal, ja que d'aquesta manera s'obtenia una correcció directa de les sèries temporals. Aquesta tècnica treballaria amb convolucions de senyals en lloc de productes d'espectres. Es pot afirmar que aquest mètode no reporta cap avantatge envers les tècniques freqüencials, ja que és més eficient calcular convolucions a través de la FFT (*Fast Fourier Transform*) que fer-ho en el domini temporal [24].

C.2.2 Retard entre els sensors

El fet que un sensor comenci a adquirir la mesura abans que l'altre té una solució puntual. Aquesta consisteix en el desplaçament o separació física dels sensors en l'estructura de la sonda *CTD*. Tot i això, és una tècnica molt difícil de precisar i molts cops s'omet la correcció d'aquest retard.

C.2.3 Ship motion

Pel que fa a possibles tècniques que corregeixin els errors causats per la variació de la velocitat de descens, en citarem una d'algorísmica, ideada per *Trump*, el 1983. Aquesta tècnica edita les dades basant-se en el fet que les dades procedents de mostres amb velocitat no uniforme no són fiables [25].

L'algorisme en qüestió defineix en primer lloc una velocitat llindar mínima de descens R (en dbar/mostra), que és fixada per l'usuari. Per definir-la, cal estimar per sota de quina velocitat les mostres ja no serien fiables. La seqüència de l'algorisme comença comparant la pressió d'una mostra a la consecutiva. Si aquesta variació de pressió dP és menor al llindar escollit R , voldrà dir que en aquest interval la velocitat és menor a la mínima fixada, i per tant automàticament es descarta aquesta mostra. Llavors, en la següent iteració es compararia la següent mostra amb la darrera mostra vàlida. Si la variació de pressió dP és major o igual a R , es guarda la mostra. La figura C.2 descriu el diagrama de blocs de l'algorisme.

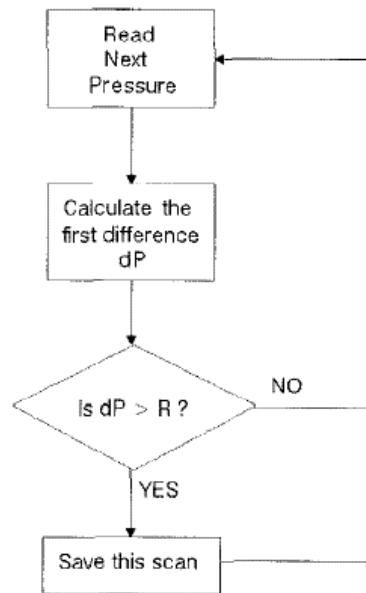


Figura C.2 Diagrama de blocs de l'algorisme editor de dades lliures d'*spikes*, en un entorn de velocitat de descens variable

Seguidament, la figura C.3 mostra els perfils que s'obtenen dels tres paràmetres un cop aplicada l'edició de les dades a través d'aquest algorisme. En aquest exemple, la velocitat límit de caiguda és molt restrictiva (0.1 dbar/mostra), fet que es mostra en el perfil temporal de la pressió, que reflecteix una bona quantitat de mostres descartades, que tenien velocitats inferiors a la mínima. Pel que fa als perfils, s'han suavitzat una mica, però encara contenen spikes, que corresponen a altres efectes aliens a l'onatge.

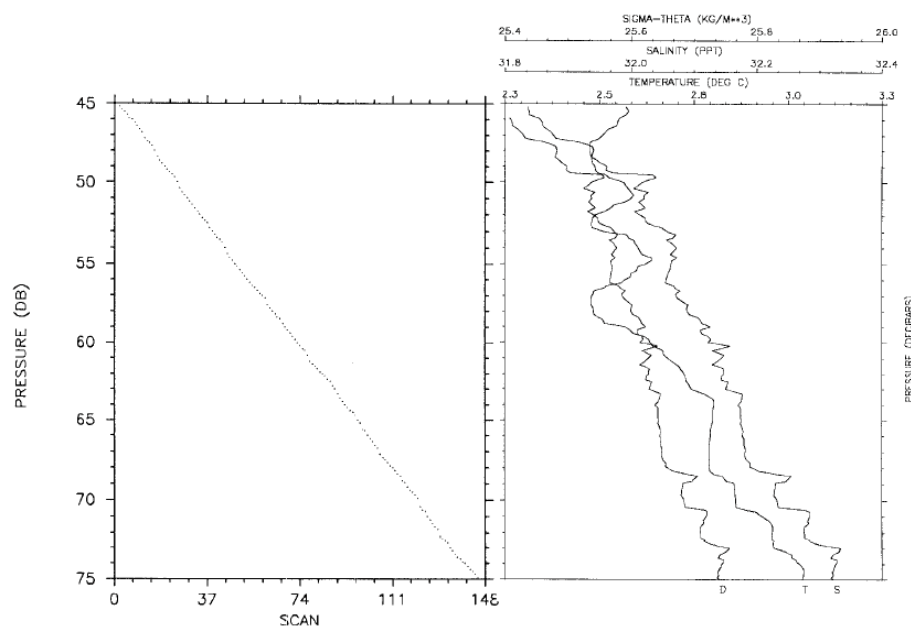


Figura C.3 A l'esquerra, perfil editat de la pressió en funció del temps. A la dreta, perfils editats de densitat (D), temperatura (T) i salinitat (S)

C.2.4 Diferència de cel·les mesurades

Per tal de pal·liar els efectes que produeix el fet de mesurar diverses cel·les, s'apliquen mètodes encarats a la captació d'un volum fix d'aigua a cada instant d'adquisició. Un exemple clar és la sonda *SBE 911plus* del fabricant *Seabird* (veure apartat B.1).

Aquesta sonda inclou un mecanisme de bomba d'aigua controlat electrònicament, a través del qual es bombeja de forma contínua aigua a la velocitat constant de $30 \text{ cm}^3/\text{segon}$. El flux s'introdueix en la sonda a través d'un conducte d'entrada, per on es mesura la temperatura de forma immediata. L'aigua segueix el seu curs i flueix a través d'un conducte de 0.4 cm de diàmetre –*TC duct*– per tal d'arribar a la cel·la de mesura del sensor de conductivitat. En aquest camí s'experimenta un retard de 0.073 segons, que és corregit. Això doncs, aquest mètode aconseguix que tant els sensor de temperatura com conductivitat mesurin la mateixa cel·la per cada període d'adquisició, i resol així el problema de la separació física dels sensors [18].

La figura C.4 descriu de forma gràfica el funcionament d'aquesta tècnica de bombeig controlat.

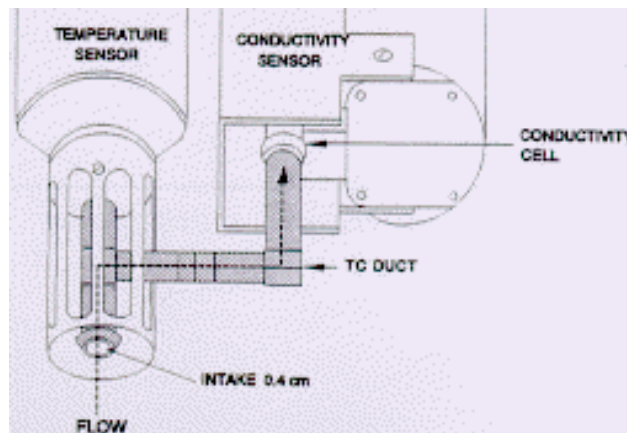


Figura C.4 Esquema que il·lustra les diverses parts del mecanisme de bombeig controlat d'aigua. Podem observar el flux d'entrada d'aigua (*Flow*), el sensor de temperatura, el conducte cap a la cel·la de conductivitat (*TC Duct*) i el sensor de conductivitat

Annex D. Sistema passa baixes de primer ordre

Al llarg del treball s'utilitza molt freqüentment el model del sistema passa baixes de primer ordre. Aquest apartat pretén caracteritzar aquest model i definir-ne els paràmetres més importants.

Un sistema passa baixes de primer ordre podria representar-se pel circuit de la figura D.1.

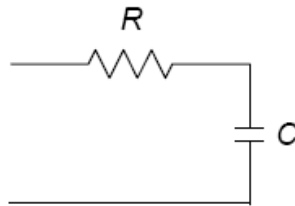


Figura D.1 Sistema passa baixes de primer ordre, que consta d'una resistència i un condensador disposats de la forma indicada

Un sistema de primer ordre es caracteritza per un element que emmagatzema energia i per un altre que en dissipa. Les expressions en D.1 defineixen el sistema, on a_1 emmagatzema energia i a_0 la dissipa.

$$\begin{aligned} \frac{dy(t)}{dt} + a_0 \cdot y(t) &= x(t) \Rightarrow a_1 \cdot s \cdot Y(s) + a_0 \cdot Y(s) = X(s) \\ \frac{Y(s)}{X(s)} &= \frac{k}{\tau \cdot s + 1} \end{aligned} \quad (\text{D.1})$$

En les expressions D.2 es defineixen els paràmetres que s'extreuen d'aquestes equacions.

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{a_0} : \text{sensibilitat estàtica} \\ \tau &= R \cdot C = \frac{a_1}{a_0} : \text{constant de temps} \\ \omega_c &= \tau^{-1} : \text{freqüència de tall angular} \end{aligned} \quad (\text{D.2})$$

Finalment, la figura D.2 reproduïx el comportament freqüencial del sistema i la resposta temporal d'aquest a una entrada esglaió.

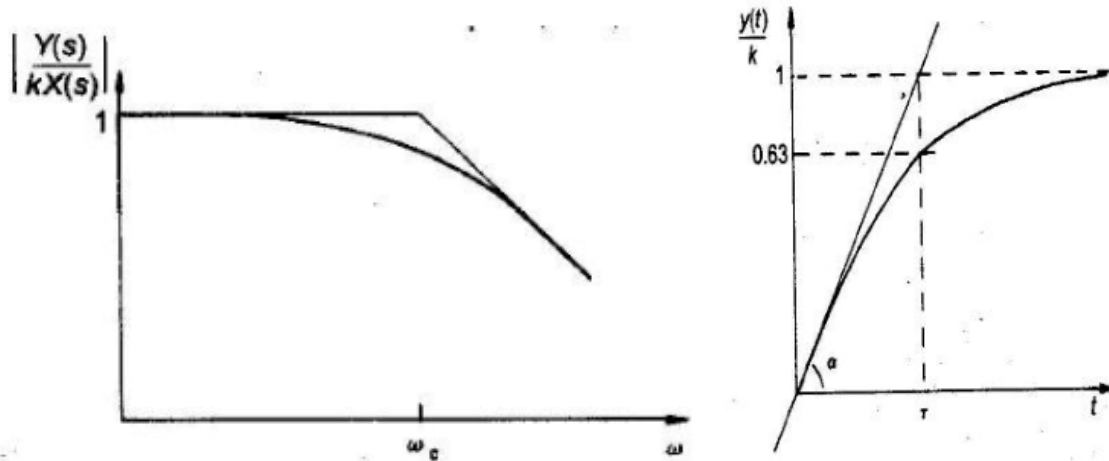


Figura D.2 A l'esquerra, resposta freqüencial del sistema, i a la dreta, resposta temporal per una entrada esglaió

La freqüència de tall és la freqüència per la qual el senyal resta atenuat 3 dB respecte el nivell màxim. Pel que fa a la resposta temporal, es calcula que el senyal adquireix el valor final al cap de $2 \cdot \pi \tau$ segons, que equivaldria al temps de resposta del sistema.

Les respostes que hem observat en la darrera figura es regeixen per les expressions D.3.

$$|H(j\omega)| = \frac{k}{\sqrt{(\omega\tau)^2 + 1}} \quad y(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{D.3})$$

Annex E. Codis confeccionats en les diverses proves

Aquest apartat mostra els codis en *Matlab*[®] més rellevants que hem utilitzat de cara a implementar les nostres aplicacions. Els codis es divideixen segons les funcions que fan i contenen comentaris que fan més entenedores les seves línies.

E.1 Càlcul de la densitat i salinitat a partir d'uns perfils donats de dades

```
%::DENSITY AND SALINITY COMPUTATION FOR A REAL PROFILE GIVEN::

function salinity_spike_sharpening(file_in,file_out,water_type,option)
% USAGE:
%     salinity_spike('file_in','file_out','f','p');
%
% INPUT:
%     file_in: This matlab file must contain an structure with the
%             following fields:
%             'file_in'.depth = depth profile [m]
%             'file_in'.temp = temperature profile [°C]
%             'file_in'.cond = conductivity profile [µS/cm]
%
% OUTPUT:
%
%     file_out: Name of the file for saving results. These are the same
%             fields in file_in and others fields computed in the scripts.
%             The final structure has the following fields:
%             'file_out'.* = same fields that input structure, but values are
%                         regular spaced (1 mm). Temperature and
conductivity
%                         profiles are also denoised
%             'file_out'.pdens = potential density [kg m^-3]
%
% WATER_TYPE:
%     'f' samples from fresh water
%     's' samples from seawater
%
% OPTION:
%     'p' plots partial results (used for testing)
%     's' save the structure named 'file_out' to a file (with the
same name)
%
%
% Loading the file 'file_in' into workspace
p=sprintf('load %s',file_in);
eval(p);
% The variables are struct fields the name of the struct is the
% same of the name file
p=sprintf('%s.depth',file_in);
depth=eval(p);
p=sprintf('%s.temp',file_in);
temp_filtered=eval(p); % temperature data provided by the sensor
```

```

p=sprintf('%s.cond',file_in);
cond_filtered=eval(p); % conductivity data provided by the sensor

% Computation of salinity and density from the input profiles
[S,pdens]=calcul_pdens(depth,temp_filtered,cond_filtered,water_type);

if findstr(option,'p') % plotting the results
    figure(1);

    subplot(1,4,1);plot(pdens,-depth);title('pot. dens. ');
    subplot(1,4,2);plot(temp_filtered,-
depth);title('temperature');refXY=axis;
    subplot(1,4,3);plot(cond_filtered,-depth);title('conductivity');
    subplot(1,4,4);plot(S,-depth);title('Salinity');

end

if findstr(option,'s') % Saving output file

    p=sprintf('%s.depth=depth;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.temp=temp;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.cond=cond;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.pdens=pdens;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.sal=S;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('save %s %s ',file_out,file_out);
    eval(p);

end

```

E.2 Processament de dades teòriques i càlcul de densitat i salinitat

```

%:::DATA PROCESSING THROUGH SENSORS AND COMPUTATION OF DENSITY AND
%SALINITY:::

function salinity_spike(file_in,file_out,water_type,option)
% USAGE:
%     salinity_spike('file_in','file_out','f','p');
%
% INPUT:
%     file_in: This matlab file must contain an structure with the
%     following fields:
%     'file_in'.depth = depth profile [m]
%     'file_in'.temp = temperature profile [°C]
%     'file_in'.cond = conductivity profile [µS/cm]
%
% OUTPUT:
%
%     file_out: Name of the file for saving results. These are the same
%     fields in file_in and others fields computed in the scripts.
%     The final structure has the following fields:

```

```

%      'file_out'.* = same fields that input structure, but values
are
%                  regular spaced (1 mm). Temperature and
conductivity
%                  profiles are also denoised
%      'file_out'.pdens = potential density [kg m^-3]
%
% WATER_TYPE:
%      'f' samples from fresh water
%      's' samples from seawater
%
% OPTION:
%      'p'  plots partial results (used for testing)
%      's'  save the structure named 'file_out' to a file (with the
same name)
%
%
% Loading the file 'file_in' into workspace
p=sprintf('load %s',file_in);
eval(p);
% The variables are struct fields the name of the struct is the
% same of the name file
p=sprintf('%s.depth',file_in);
depth=eval(p);
p=sprintf('%s.temp',file_in); % Temperature theoretical data
temp=eval(p);
p=sprintf('%s.cond',file_in); % Conductivity theoretical data
cond=eval(p);

      Ttemp = 1.2732; % Time constant for temperature sensor
      (T=Ttemp.Ta -> tr=2*PI.Ttemp.Ta -> fc=(1/Ttemp.PI)(fm/2)
      Tcond = 0.3978; % Time constant for conductivity sensor

      i = 2;
      j = 0;
      e = 2.718281828;

      temp_filtered(1)=temp(1);
      cond_filtered(1)=cond(1);

      while(i<(10*depth_res))

          while((temp(i)==temp(i+1)) && (j==0)) % Same value
for the output as long as the step does not occur
              temp_filtered(i)=temp(i);
              i = i+1;
              k = i;
          end

              temp_filtered(i)=temp(k)+(temp(k+1)-temp(k))*(1-
e^(-j/Ttemp)); % Expression of RC 1st order filter response to an
input step

              j=j+1;
              i=i+1;
          end;

              temp_filtered(i)=temp(k)+(temp(k+1)-temp(k))*(1-
e^(-j/Ttemp)); % Edition of last value of the vector

      i = 2;

```

```

j = 0;

while(i<(10*depth_res))

    while((cond(i)==cond(i+1)) && (j==0))    % Same value
for the output as long as the step does not occur
        cond_filtered(i)=cond(i);
        i = i+1;
        k = i;
    end

        cond_filtered(i)=cond(k)+(cond(k+1)-cond(k))*(1-
e^(-j/Tcond)); % Expression of RC 1st order filter response to an
input step

        j=j+1;
        i=i+1;
    end;

        cond_filtered(i)=cond(k)+(cond(k+1)-cond(k))*(1-
e^(-j/Tcond)); % Edition of last value of the vector


% Computing salinity and density from processed data
[S,pdens]=calcul_pdens(depth,temp_filtered,cond_filtered,water_type);

if findstr(option,'p') % Plotting resulting data

    figure(1);
    subplot(1,4,1);plot(pdens,-depth);title('pot. dens. ');
    subplot(1,4,2);plot(temp_filtered,-
depth);title('temperature');refXY=axis;
    subplot(1,4,3);plot(cond_filtered,-depth);title('conductivity');
    subplot(1,4,4);plot(S,-depth);title('Salinity');

end

```

E.3 Editor de dades de diversos rangs

```

%::Editor of data with several input range widths according to
%symmetrical variations::

% Loading the data file
load dades;
% Creation of data
for t=0.2:0.2:12,
for s=1:1:30,
dades.cond=[(46000+1000*s)*ones(1,5000) (46000-1000*s)*ones(1,5000)];
dades.temp=[(19.5+t)*ones(1,5000) (19.5-t)*ones(1,5000)];
save dades;
% Call of the function to make a determined application
salinity_spike('dades','dades_resultants','s','sp');
hold on;
end
end

```

E.4 Detecció de la presència d'*spikes* en funció del rang d'entrada

```
%::Spiking effect detection for a given input range width

function salinity_spike(file_in,file_out,water_type,option)
% USAGE:
%     salinity_spike('file_in','file_out','f','p');
%
% INPUT:
%   file_in: This matlab file must contain an structure with the
%             following fields:
%             'file_in'.depth = depth profile [m]
%             'file_in'.temp = temperature profile [°C]
%             'file_in'.cond = conductivity profile [µS/cm]
%
% OUTPUT:
%
%   file_out: Name of the file for saving results. These are the same
%             fields in file_in and others fields computed in the scripts.
%             The final structure has the following fields:
%             'file_out'.* = same fields that input structure, but values are
%                           regular spaced (1 mm). Temperature and
conductivity
%                           profiles are also denoised
%             'file_out'.pdens = potential density [kg m^-3]
%
% WATER_TYPE:
%   'f' samples from fresh water
%   's' samples from seawater
%
% OPTION:
%   'p' plots partial results (used for testing)
%   's' save the structure named 'file_out' to a file (with the
same name)
%
% Loading the file 'file_in' into workspace
p=sprintf('load %s',file_in);
eval(p);
% The variables are struct fields the name of the struct is the
% same of the name file
p=sprintf('%s.depth',file_in);
depth=eval(p);
p=sprintf('%s.temp',file_in); % theoretical temperature data
temp=eval(p);
p=sprintf('%s.cond',file_in); % theoretical conductivity data
cond=eval(p);

    Ttemp = 1.2732;      % Time constant for temperature sensor
    (T=Ttemp·Ta -> tr=2PI·Ttemp·Ta -> fc=(1/Ttemp·PI)(fm/2)
    Tcond = 0.3978;      % Time constant for conductivity sensor
    i = 2;
    j = 0;
    e = 2.718281828;
```

```

temp_filtered(1)=temp(1);
cond_filtered(1)=cond(1);

while(i<(10*depth_res))

    while((temp(i)==temp(i+1)) && (j==0)) % Same value for
the output as long as the step does not occur
        temp_filtered(i)=temp(i);
        i = i+1;
        k = i;
    end

        temp_filtered(i)=temp(k)+(temp(k+1)-temp(k))*(1-e^(-
j/Ttemp)); % Expression of RC 1st order filter response to an input
step

        j=j+1;
        i=i+1;
    end;

        temp_filtered(i)=temp(k)+(temp(k+1)-temp(k))*(1-e^(-
j/Ttemp)); % Edition of last value of the vector

    i = 2;
    j = 0;

while(i<(10*depth_res))

    while((cond(i)==cond(i+1)) && (j==0)) % Same value
for the output as long as the step does not occur
        cond_filtered(i)=cond(i);
        i = i+1;
        k = i;
    end

        cond_filtered(i)=cond(k)+(cond(k+1)-cond(k))*(1-e^(-
j/Tcond)); % Expression of RC 1st order filter response to an input
step

        j=j+1;
        i=i+1;
    end;

        cond_filtered(i)=cond(k)+(cond(k+1)-cond(k))*(1-e^(-
j/Tcond)); % Edition of last value of the vector

if findstr(option,'s')
    % Saving output file
    p=sprintf('%s.depth=depth;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.temp_filtered=temp_filtered;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.cond_filtered=cond_filtered;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.pdens=pdens;',file_out);

```



```

eval(p);
p=sprintf('%s.sal=S;',file_out);
eval(p);
p=sprintf('save %s %s ',file_out,file_out);
eval(p);
end

% Testing whether density profile results in spikes

for i=1:1:length(depth)-1,
    pdens_width(i)=pdens(i+1)-pdens(i);
end

    if(max(pdens_width)>0.0095 && min(pdens_width)<-0.0095)
% Threshold 0.0095 applied

        res_pdens=1; % Returns '1' if spikes appear
    else
        res_pdens=0;
    end

% Testing whether salinity profile results in spikes

for i=1:1:length(depth)-1,
    S_width(i)=S(i+1)-S(i);
end

    if(max(S_width)>0.0095 && min(S_width)<-0.0095)
% Threshold 0.0095 applied

        res_S=1; % Returns '1' if spikes appear
    else
        res_S=0;
    end

% A blue circle is plotted if there is no spikes
% If there's spiking presence, a red crossed is plotted

if((res_S==1)||(res_pdens==1))
    plot(abs(-
cond_filtered(length(depth))+cond_filtered(1)),abs(temp_filtered(length
(depth))-temp_filtered(1)),'xred');xlabel('conductivity range
width');ylabel('temperature range width');title('Spiking appearences
(x) vs no spiking appearences (o)');
else
    plot(abs(-
cond_filtered(length(depth))+cond_filtered(1)),abs(temp_filtered(length
(depth))-temp_filtered(1)),'oblue');xlabel('conductivity range
width');ylabel('temperature range width');title('Spiking appearences
(x) vs no spiking appearences (o)');
end

```

E.5 Mètodes de correcció de *sharpening* i interpolació

```

% Application of sharpening and interpolation correction methods for
%experimental SCAMP given data

function salinity_spike(file_in,file_out,water_type,option)
% USAGE:
%     salinity_spike('file_in','file_out','f','p');
%
% INPUT:
%   file_in: This matlab file must contain an structure with the
%   following fields:
%   'file_in'.depth = depth profile [m]
%   'file_in'.temp = temperature profile [°C]
%   'file_in'.cond = conductivity profile [µS/cm]
%
% OUTPUT:
%
%   file_out: Name of the file for saving results. These are the same
%   fields in file_in and others fields computed in the scripts.
%   The final structure has the following fields:
%   'file_out'.* = same fields that input structure, but values are
%   regular spaced (1 mm). Temperature and
conductivity
%   profiles are also denoised
%   'file_out'.pdens = potential density [kg m^-3]
%
% WATER_TYPE:
%   'f' samples from fresh water
%   's' samples from seawater
%
% OPTION:
%   'p' plots partial results (used for testing)
%   's' save the structure named 'file_out' to a file (with the
same name)
%
% Loading the file 'file_in' into workspace
p=sprintf('load %s',file_in);
eval(p);
% The variables are struct fields the name of the struct is the
% same of the name file
p=sprintf('%s.depth',file_in);
depth=eval(p);
p=sprintf('%s.temp',file_in); % Data provided by temperature sensor
temp=eval(p);
p=sprintf('%s.cond',file_in); % Data provided by conductivity sensor
cond=eval(p);

% Sharpening method

    fast_t_sharp= 12.5; % Initial corner frequency
    fast_t_smooth= 40; % Sharpening frequency
    time_chan = 0:0.01:(length(depth)-1)*0.01; % Time array
    temp_filtered = s_bwcomp(temp_filtered', time_chan' ,fast_t_sharp,
fast_t_smooth); % Sharpening operation
    %temp_filtered = s_filter(temp_filtered, time_chan', 40);

[S,pdens]=calcul_pdens(depth,temp_filtered,cond_filtered,water_type);
% Salinity and density computation

```

```

if findstr(option,'s')
    % Saving output file
    p=sprintf('%s.depth=depth;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.temp_filtered=temp_filtered;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.cond_filtered=cond_filtered;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.pdens=pdens;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('%s.sal=S;',file_out);
    eval(p);
    p=sprintf('save %s %s ',file_out,file_out);
    eval(p);
end

% Interpolation method: density processing

for i=1:1:length(depth)-1,
    pdens_width(i)=pdens(i+1)-pdens(i);
end
if(max(pdens_width)>0.0095 && min(pdens_width)<-0.0095)
    y=find(pdens_width > 0.0095 | pdens_width < -0.0095); % Threshold
    %0.0095 applied
    j=1;
    k=2;
    while(j<length(y))
        if ((y(j+1)-y(j))<50)
            j=j+1;
        else
            z=interp1([y(k),y(j)+1],pdens([y(k),y(j)+1]),[y(k):y(j),y(j)+1]);
            % Interpolation operation
            pdens([y(k):y(j),y(j)+1])=z;
            k=j+1;
            j=j+1;
        end
    end
    if(k==1)
        y=[y y(end)+1];
        z=interp1([y(1),y(end)],pdens([y(1),y(end)]),y(1):y(end));
        pdens(y(1):y(end))=z;
    else
        z=interp1([y(k),y(j)+1],pdens([y(k),y(j)+1]),[y(k):y(j),y(j)+1]);
        pdens([y(k):y(j),y(j)+1])=z;
    end

    for i=1:1:length(depth)-1,
        pdens_width(i)=pdens(i+1)-pdens(i);
    end
    if(max(pdens_width)>0.0095 && min(pdens_width)<-0.0095)
        res_pdens=1; % If spikes are present, it returns '1'
    else
        res_pdens=0;
    end
end
else

```

```

        res_pdens=0;
    end

    % Interpolation method: salinity processing

    for i=1:length(depth)-1,
        S_width(i)=S(i+1)-S(i);
    end
    if(max(S_width)>0.0095 && min(S_width)<-0.0095) % Threshold 0.0095
        %applied

        y=find(S_width > 0.0095 | S_width < -0.0095);
        j=1;
        k=2;
        while(j<length(y))
            if ((y(j+1)-y(j))<50)
                j=j+1;
            else
                z=interp1([y(k),y(j)+1],S([y(k),y(j)+1]),[y(k):y(j),y(j)+1]); %
                %Interpolation operation
                S([y(k):y(j),y(j)+1])=z;
                k=j+1;
                j=j+1;
            end
        end
        if(k==1)
            y=[y y(end)+1];
            z=interp1([y(1),y(end)],S([y(1),y(end)]),y(1):y(end));
            S(y(1):y(end))=z;
        else
            z=interp1([y(k),y(j)+1],S([y(k),y(j)+1]),[y(k):y(j),y(j)+1]);
            S([y(k):y(j),y(j)+1])=z;
        end

        for i=1:length(depth)-1,
            S_width(i)=S(i+1)-S(i);
        end
        if(max(S_width)>0.0095 && min(S_width)<-0.0095)
            res_S=1; % If spikes are present, it returns '1'
        else
            res_S=0;
        end
    else
        res_S=0;
    end
end

```